

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ПУТРЕНКО ВІКТОР ВАЛЕНТИНОВИЧ



УДК 681.325:477

**МЕТОДОЛОГІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ГЕОПРОСТОРОВИХ
ДАНИХ ДЛЯ ЗАДАЧ СТАЛОГО РОЗВИТКУ**

01.05.04 – системний аналіз і теорія оптимальних рішень

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ – 2020

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Інституті прикладного системного аналізу Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Науковий консультант: академік НАН України,

доктор технічних наук, професор,

Згуровський Михайло Захарович

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря

Сікорського», ректор

Офіційні опоненти: член-кореспондент НАН України,

доктор фізико-математичних наук, професор

Хіміч Олександр Миколайович

Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова

НАН України, заступник директора з наукової роботи

доктор технічних наук, професор

Карпінський Юрій Олександрович

державне підприємство «Науково-дослідний інститут
геодезії і картографії», директор

доктор технічних наук, старший науковий співробітник

Циганок Віталій Володимирович

Інститут проблем реєстрації інформації НАН України,

завідувач лабораторії систем підтримки прийняття рішень

Захист відбудеться «25» лютого 2020 р. о 15-00 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.03 Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, м. Київ – 56, пр. Перемоги, 37, корп. №35, ауд. 001.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, м. Київ – 56, пр. Перемоги, 37.

Автореферат розісланий 23 січня 2020 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради Д 26.002.03



В.О. Капустян

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Підтримка прийняття управлінських рішень в територіально розподілених системах засновується на використанні геопросторової інформації, що в свою чергу вимагає застосування складних математичних та обчислювальних інструментів і методів інтелектуального аналізу та обробки геопросторових даних з метою досягнення цілей сталого розвитку та безпеки життя людей на відповідних територіях.

Зазначені тенденції дають поштовх для розвитку індустрії геопросторових даних, переходу до управління територіями (велике місто, регіон країни, країна) на основі використання геоінформаційних систем, створення нових систем та методів збору геопросторових даних, в тому числі геокодування та геотегування інформації, накопичення великих обсягів геопросторових даних. Ці задачі вимагають застосування новітніх способів аналізу великих обсягів геопросторових даних з метою виявлення прихованих закономірностей в їх структурі. Тому інтелектуальний аналіз геопросторових даних, як важливий напрям наукових досліджень, відкриває нові можливості для побудови ефективних систем територіального управління.

Попередні дослідження з цієї тематики викладені в роботах: А.Г. Лексин, В.В. Швецов, Н.В. Попович, А.Д. Гвішиані, М.З. Згуровський, О.І. Шаблій, James Johannesson, С.Н. Березко, Л.Б. Рыбкина, Diansheng Guo, Jeremy Mennis, Andrienko & Andrienko, 1999; Chawla et al., 2000; Gahegan, 2003; Guo, Peuquet, & Gahegan, 2003; Guo et al., 2006; Han, Koperski & Stefanovic, 1997; Keim et al., 2004; Knorr & Ng, 1996; Kulldorff, 1997; Mennis & Liu, 2005; Miller & Han, 2009; Miller and Han, 2001; Openshaw, Charlton, Wymer, & Craft, 1987; Shekhar et al. 2004.

Разом з тим, існуючі на сьогодні методи інтелектуального аналізу великих даних мають суттєві обмеження в частині їх практичного застосування до обробки геопросторових даних. З іншого боку, кількісні методи аналізу геопросторових даних не можуть надати інтегральної оцінки для формування регіональної політики стосовно досягнення цілей сталого розвитку без розробки відповідної системної методології сталого розвитку з безпековою складовою.

Таким чином, розробка якраз такої системної методології та відповідних математичних і обчислювальних інструментів інтелектуального аналізу геопросторових даних (ІАГД) для задач сталого розвитку великих територіальних об'єднань зумовлює актуальність проблеми дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана відповідно до плану наукових досліджень у рамках таких науково-дослідних програм (тем) ННК «Світовий центр даних з геоінформатики та сталого розвитку» та ННК «ІПСА» КПІ ім. Ігоря Сікорського:

- Розробка методології та математичної бази кількісної оцінки процесів сталого розвитку та впливу на них сукупності загроз як у глобальному, так і в регіональному контексті (0111U001738).
- Форсайт економіки України: середньостроковий (2015–2020 роки) і довгостроковий (2020–2030 роки) часові горизонти.
- Міжнародний проект EU funded Programme for the prevention, preparedness, and response to man-made and natural disasters in the ENPI East Region – EuropeAid/129397/C/SER/Multi (EP 105044).
- Міжнародний проект DFATD funded project «Laying the Foundation for a Spatial Data Infrastructure: Building Capacity within the Ukrainian Government to Support Sustainable Economic Growth» (S-065681).
- Аналіз соціально-економічних процесів розвитку суспільства, заснованого на знаннях (0114U000670).
- Розробка он-лайн платформи аналізу і сценарного планування сталого розвитку регіонів України в контексті якості та безпеки життя людей (0117U002476).
- Міжнародний проект 6166 спільно з УНТЦ та НАН України «Розробка інформаційних технологій для моделювання, кількісного оцінювання та прогнозування впливу загроз виникнення конфліктів та розповсюдження зброї на стабільність розвитку суспільства в регіональному та глобальному масштабах» (STCU #6166).

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є розробка методології та сукупності математичних і обчислювальних інструментів інтелектуального аналізу геопросторових даних в системах підтримки прийняття управлінських рішень для великих територіальних об'єднань з метою сталого розвитку та підвищення якості і безпеки життя людей на зазначених територіях.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

1. Проаналізувати існуючі методи та підходи до моделювання, оцінювання і прогнозування складових сталого розвитку на основі геопросторових даних.
2. Системно обґрунтувати особливості методів інтелектуального аналізу геопросторових даних в задачах сталого розвитку в межах концепції побудови вектора сталого розвитку на основі кватерного підходу для побудови компонентів якості життя та глобальних загроз.
3. Розробити методологію інтелектуального аналізу геопросторових даних в системах підтримки прийняття рішень для задач сталого розвитку з обґрунтуванням вибору геоінформаційної платформи для задач аналізу геопросторових даних.

4. Дослідити застосування геоінформаційних технологій для проведення інтелектуального аналізу з використанням основних моделей організації геопросторових даних.
5. Розробити систему нових методів, моделей та алгоритмів інтелектуального аналізу для обробки геопросторових даних для вирішення задач визначення впливу геопросторових відносин на складові сталого розвитку методом побудови трендових поверхонь.
6. Удосконалити методи стохастичного моделювання невідомих значень у геопросторі шляхом модифікації варіаграмної моделі крігінгу для відновлення відсутніх значень у статистичних рядах метрики сталого розвитку.
7. Запропонувати методи інтелектуального аналізу геопросторових даних на основі ГІС-технологій для аналізу безпекової компоненти на різних територіальних рівнях засобами побудови просторово-часових кубів спільно з аналізом кластеризації «гарячих точок».
8. Розробити методи кластеризації регіонів України у багатовимірному просторі з врахуванням просторових відносин для проведення районування та зонування території.
9. Удосконалити методи глобальної та локальної просторової регресії для вирішення завдань оптимізації конфігурування просторових патернів у розподілі точкових об'єктів та методів геопросторової концептуалізації топологічних зв'язків між об'єктами.
10. Розробити методи розрахунку метрики сталого розвитку на основі даних дистанційного зондування Землі з використанням карт самоорганізації Кохонена та згорткових нейронних мереж з градієнтним алгоритмом навчання.
11. Розробити інструментарій СППР на основі інтелектуального аналізу геопросторових даних та нейронних мереж з метою впровадження науково-обґрунтованого підходу до управління розподілено-територіальними системами на регіональному та локальному рівні.
12. Застосувати розроблені інформаційні технології та системи для розв'язання прикладних задач моделювання параметрів сталого розвитку регіонів України.

Об'єкт дослідження: Процеси дослідження інтелектуального аналізу даних (Data Mining) з геопросторовим положенням.

Предмет дослідження: Моделі, методи та технології інтелектуального аналізу геопросторових даних для використання в системах прийняття рішень в задачах сталого розвитку великих територіальних об'єднань.

Методи дослідження ґрунтуються на використанні методології системного аналізу, методів і алгоритмів передбачення; теорії підтримки прийняття рішень та геоінформаційного підходу, інтелектуальних методів

аналізу геопросторових даних, зокрема, методів класифікації та кластеризації геопросторових даних, асоціативних правил, зонування та районування, геостатистики та географічної регресії, побудови просторово-часових кубів, методів штучного інтелекту, в тому числі багатошарових нейронних мереж.

Наукова новизна: У дисертації сформульовано та обґрунтовано низку наукових положень, які у своїй сукупності дозволяють розв'язати важливу науково-прикладну проблему інтелектуального аналізу геопросторових даних з метою розпізнавання прихованих закономірностей та відношень в структурі цих даних при вирішенні задач сталого розвитку великих територіально розподілених систем.

Основні наукові результати дисертаційної роботи полягають у наступному:
вперше:

- розроблено методологію використання інтелектуальних методів аналізу геопросторових даних, яка включає в себе принципи сталого розвитку, моделі, методи та технології системного управління територіями;
- розроблено методику використання геопросторових даних дистанційного зондування Землі для отримання інтегральної оцінки параметрів сталого розвитку та безпеки життя людей:
 - розроблено метод моделювання на основі географічно зваженої регресії та локального індексу Морана;
 - розроблено метод розрахунку індексу економічного розвитку території з використанням нейронних мереж на основі навчання на базі даних дистанційного зондування Землі;
- розроблено методику трендового аналізу функціонального та кількісного зв'язку вкладу складових індексу сталого розвитку;
- розроблено методику районування територій за параметрами сталого розвитку з використанням топологічних геопросторових даних місцезнаходження та методів геопросторової класифікації та кластеризації;

удосконалено:

- компонент безпеки моделі сталого розвитку на основі індексу природних та техногенних небезпек;
- методи геостатистичного аналізу та оптимізації задачі інтерполяції даних стохастичними методами крігінгу;
- методи аналізу просторово-часового кубу даних у дослідженні великих геопросторових даних;

отримали подальший розвиток:

- методи просторової кластеризації та нечіткої кластеризації даних з використанням статистичної обробки «гарячих-холодних» точок;

- методи геопросторової концептуалізації топологічних зв'язків між об'єктами;
- методи глобальної та локальної просторової регресії для вирішення завдань оптимізації конфігурування просторових патернів у розподілі точкових об'єктів.

Практичне значення одержаних результатів полягає у створенні інструментарію на основі програмної платформи ArcGIS для інтеграції розроблених методів та методик інтелектуального аналізу і нейронних мереж до геоінформаційної системи з метою оцінки параметрів сталого розвитку територій з позицій кластеризації, районування та комплексування адміністративно-територіальних одиниць для досягнення цілей сталого розвитку та безпеки життя людей.

Розроблений підхід дозволяє оцінити параметри та інтегральну оцінку складових сталого розвитку для управління регіонами на різних територіальних рівнях, які відповідають європейській класифікації регіонів NUTS 1-5 та державному адміністративно-територіального устрою України, включаючи новий тип адміністративних територіальних утворень – об'єднані територіальні громади.

Ще одним аспектом застосування інструментарію є можливість отримання необхідних даних для територій, на яких статистичні дані не збираються або не доступні. В Україні до класу таких територій відноситься окупована частина Донбасу та АР Крим.

Побудований інструментарій використано при розв'язанні наступних практичних задач:

- оцінка просторових трендів розподілу регіонів України за індикаторами сталого розвитку за період з 2013 р. по сьогоднішній день;
- побудова схем районування території України в залежності від особливостей розподілу індикаторів сталого розвитку;
- класифікація адміністративних одиниць України за структурою землекористування.
- оцінювання індексу економічного розвитку як складової якості життя населення для територіальних одиниць України та його динаміки з 2013 р.

Результати дисертаційної роботи впроваджено в проектах ННК «Світовий центр даних з геоінформатики та сталого розвитку» КПІ ім. Ігоря Сікорського в межах дослідницьких робіт та ініціативних тематик аналізу параметрів сталого розвитку країн світу та України. Крім того, результати дисертації були впроваджені в Інституті телекомунікації та глобального простору Національної академії наук України, Державному підприємстві "Український державний науково-дослідний інститут проектування міст "ДІПРОМІСТО" імені Ю.М.Білоконя, що підтверджується відповідними документами.

Результати дисертаційної роботи впроваджено в навчальний процес кафедри «Математичні методи системного аналізу» Інституту прикладного системного аналізу Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», зокрема при викладанні дисципліни «Геоінформаційні системи» та «Інтелектуальний аналіз даних в геоінформатиці» та розробці трьох навчальних посібників.

Особистий внесок автора у праці, які склали основу дисертації і виконані в співавторстві.

Всі наукові положення та результати, що складають зміст роботи та становлять наукову новизну, отримані автором самостійно. Робота містить теоретичні та методичні положення, висновки, які сформульовані дисертантом особисто. У друкованих працях, написаних у співавторстві, здобувачеві належать: концепція використання методів ІАГД в геоінформаційному картографуванні [2], застосування методів картографічного моделювання до оцінювання розвитку регіонів [3 - 7], геопросторове моделювання параметрів сталого розвитку країн світу та регіонів України [8 - 10], модифікація методів стохастичної інтерполяції на основі варіограмної моделі [2], розробка геостатистичних моделей аналізу екологічного виміру якості життя [16], методів геопросторової кластеризації [17], методів геопросторової класифікації з використанням дерев рішень [20, 77], застосування інструментарію ІАГД для аналізу природних небезпек [21, 67], розробка методів ІАГД в задачах аналізу процесу сталого розвитку [22], ІАГД оцінювання якості повітря [23, 47, 48], застосування ІАГД для кластеризації небезпеки конфліктів [24, 86], розробка методики просторово-часового кубу [25, 43, 45, 82, 85], ІАГД на основі даних дистанційного зондування [26], кластеризація регіонів України на основі даних про земний покрив [27, 83], застосування ІАГД на основі інфраструктури геопросторових даних [28], розробки елементів СППР на основі геоінформаційної системи [29], геопросторовий аналіз небезпек техногенних аварій [30], модифікація байєсівських мережі для застосування в ІАГД [31], використання нейронних мереж у дослідженні ІАГД [33], аналіз просторової регресії на прикладі нічного освітлення [34], регіональний аналіз вегетації методами кластеризації [35], використання геоінформаційних технологій в аналізі даних [36 - 39], аналізу екномічного виміру сталого розвитку за даними ДЗЗ [41], застосування в управлінні атласних інформаційних систем [44], ІАГД розповсюдження забруднювачів [49, 51, 71], кластерний аналіз в геоінформаційних системах [52], розробка веб-сервісів аналізу геопросторових даних [54], ІАГД для цілей моделювання соціальних складових сталого розвитку [58], ІАГД аналізу ландшафтного різноманіття [62], розробка геопросторових баз даних [63], підтримка прийняття рішень з використанням ГІС [69], інтелектуального аналізу даних пожежної небезпеки [76], застосування карт самоорганізації [78], моделювання забруднення повітря [80], геопросторова

кластеризація [81], оцінювання компонентів сталого розвитку за даними ДЗЗ [84], аналіз великих геопросторових даних [87], аналіз ризиків техногенних аварій [92, 97, 98], геоінформаційні технології у проектуванні СППР [96], розробка атласної інформаційної системи аналізу сталого розвитку [107].

Апробація результатів дисертації.

- міжнародна наукова конференція «Просторовий аналіз природних і техногенних ризиків в Україні» (м. Київ, 2009);
- міжнародна наукова конференція «IX конференция по тематической картографии» (Иркутск, 2010);
- міжнародна науково-практична конференція «Природно-ресурсний потенціал збалансованого (сталого) розвитку України» (м. Київ, 2011);
- міжнародний науковий семінар «Розвиток тематичної складової інфраструктури геопросторових даних в Україні» (м. Київ, 2011);
- міжнародна наукова конференція «Territorial identity and geopolitics» (м. Київ, 2011);
- міжвузівська науково-практична конференція «Геопросторові технології в сталому розвитку міст» (Харків, 2011);
- міжвузівська науково-практична конференція «Екологічні аспекти регіонального партнерства в надзвичайних ситуаціях» (Харків, 2012);
- V Всеукраїнська науково-практична конференція «Національні атласи у формуванні глобального інформаційного простору» (Київ, 2012);
- міжнародна наукова конференція «Зелена економіка: перспективи впровадження в Україні» (Київ, 2012);
- міжнародна наукова конференція «Global Geospatial Conference 2012 - Spatially Enabling Government, Industry and Citizens» (м. Квебек, Канада, 2012);
- міжнародна наукова конференція «32nd International Geographical Congress» (Кельн, Німеччина, 2012);
- міжнародна наукова конференція «На шляху до сталого розвитку» (Київ, 2013);
- міжнародна наукова конференція «From cartography to geographic information science» (Вільнюс, Литва, 2013);
- міжнародна наукова конференція «Потенціал сучасної географії у розв'язанні проблем розвитку регіонів» (Київ, 2013);
- міжнародна наукова конференція «Геоінформаційні технології у територіальному управлінні» (Одеса, 2015, 2016);
- міжнародна наукова конференція «InterCarto-InterGIS 24. Geoinformation and Sustainable Development» (Бонн, Німеччина, 2018);
- міжнародна наукова конференція «International conference SAIT» (Київ, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018);

- міжнародна наукова конференція «Аерокосмічні спостереження в інтересах сталого розвитку та безпеки» (Київ, 2016, 2018);
- міжнародна наукова конференція «ГІС-ФОРУМ-2018» (Харків, 2018);
- міжнародна наукова конференція «GSDI 15 Conference» (Тайбей, Тайвань, 2016);
- всеукраїнська науково-практична конференція «Глушковські читання» (Київ, 2016);
- VIII міжнародна школа-семінар «Теорія прийняття рішень» (Ужгород, 2016);
- міжнародна наукова конференція «Copernicus Global Land» (Арлон, Бельгія, 2015);
- міжнародна наукова конференція «27th International Cartographic Conference» (Ріо-де-Жанейро, Бразилія, 2015)
- міжнародна наукова конференція «RISK Information Management, Risk Models and Applications» (Берлін, Німеччина, 2015);
- всеукраїнська науково-практична конференція «В.М. Глушков – піонер кібернетики» (Київ, 2014);
- міжнародна наукова конференція «25th World Congress of Political Science» (Брісбен, Австралія, 2018);
- всеукраїнська науково-практична конференція «Моделювання та прогнозування економічних процесів» (Київ, 2017);
- міжнародна наукова конференція «The 28th International Cartographic Conference: ICC 2017» (Вашингтон, США, 2017);
- міжнародна наукова конференція «IEEE First Ukraine Conference on electrical and computer engineering (UKRCON)» (Київ, 2017).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 108 наукових праць, у тому числі 11 монографій, 24 статей у наукових фахових виданнях (з них 5 статей у виданнях іноземних держав, 3 у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз), 25 статей у інших виданнях, 1 авторське свідоцтво на твір, 3 навчальні посібники, 44 тез доповідей в збірниках матеріалів конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел із 416 найменувань та трьох додатків на 40 сторінках. Загальний обсяг дисертації становить 449 сторінок, у тому числі 327 сторінок основного тексту, робота містить 115 рисунків та 16 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність розробки методів та інструментарію підтримки прийняття рішень на основі геопросторових даних та результатів їх моделювання; визначені: мета, об'єкт, предмет і методи дослідження; показано

зв'язок з науковими програмами, планами, темами; наведено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів; висвітлено особистий внесок здобувача.

У першому розділі виконано огляд і аналіз досліджень з аналізу геопросторових даних для цілей сталого розвитку. На основі концепції сталого розвитку та доробків у сфері кількісного вимірювання (метрики) процесів сталого розвитку на національному та регіональному рівні розроблено методологію інтелектуального аналізу геопросторових даних для цілей сталого розвитку. Встановлено структурні та функціональні зв'язки між математичною мірою процесу сталого розвитку та просторово-часовими характеристиками розподілу, що дає можливість визначити основні закономірності та приховані залежності у даних.

Наведена методологія ґрунтується на формалізації процесів розвитку складних соціально-економічних систем в тривимірному географічному просторі, який впливає на зміну параметрів процесів за рахунок тісноти просторових зв'язків, топологічних відносин та взаємодії об'єктів. Метрика взаємодії у геопросторі задається через координатні описи об'єктів в певній системі геопросторових координат та досліджується з використанням сучасних методів інтелектуального аналізу даних та розроблених методів та методик аналізу геопросторових даних в задачах сталого розвитку.

Для обробки великих обсягів геопросторових даних в дисертації використовується SDGM – метод (Sustainable Development Gauging Matrix), запропонований в роботах: Zgurovsky M. Z. Sustainable development global simulation: Opportunities and threats to the planet. Russian Journal of Earth Sciences, 2007, Vol. 9, ES2003, doi:10, 2205/2007ES000273 (<http://elpub.wdcb.ru/journals/rjes/v09/2007ES000273/2007ES000273.pdf>) та Zgurovsky M. Z. Sustainable Development Global Simulation: Analysis of Quality and Security of Human Life, 2012, DOI: 10.5772/26776 (<http://cdn.intechweb.org/pdfs/29228.pdf>).

Відповідно до SDGM метода вводиться функціональна залежність:

$$G_{sd} = \langle \{Q\}(x, y, z, t) \rangle,$$

де G_{sd} – геопросторова складова вимірювання метрики сталого розвитку; $\{Q\}$ – кватеріон міри сталого розвитку, x – координата широти, y – координата довготи у визначеній геодезичній системі координат, z – координата значення в точці в умовній системі координат, t – часова змінна у розвитку процесу сталого розвитку.

Таким чином, згідно SDGM метода міра сталого розвитку розглядається в тривимірному просторі в динамічній зміні, що впливає на її причинно-наслідкові зв'язки та прогнозування цих змін, а сам процес сталого розвитку характеризується двома основними складовими: безпекою (C_{sl}) і якістю (C_{ql})

життя людей. Узагальнена міра сталого розвитку визначається за допомогою кватеріона (Zgurovsky, 2007, 2012):

$$\{Q\} = j w_{sl} C_{sl} + w_{ql} \overline{C_{ql}} (I_{ec}, I_e, I_s). \quad (1)$$

$\{Q\}$ містить уявну зважену скалярну частину $j w_{sl} C_{sl}$, яка описує безпеку життя людей і зважену дійсну векторну частину, яка описує якість життя людей у просторі трьох вимірів: економічного (I_e), екологічного (I_{ec}) і соціально-інституціонального (I_s). При цьому j набуває значення дійсної одиниці для нормального, регулярного стану розвитку суспільства за $C_{sl} > 0$, і значення уявної одиниці, коли суспільство переходить у стан конфлікту ($C_{sl} = 0$):

$$j = \begin{cases} 1, & \text{для } C_{sl} > 0; \\ \sqrt{-1}, & \text{для } C_{sl} = 0 \text{ (конфлікт)}. \end{cases}$$

Вагові коефіцієнти w_{sl} і w_{ql} в формулі (1) використані з метою вирівнювання масштабів компонент безпеки і якості життя (у випадку оцінювання сталого розвитку регіонів України – $w_{sl} = w_{ql} = 1$).

Таким чином, відповідно до SDGM – метода, під *індексом сталого розвитку* будемо розуміти кількісну міру сталого розвитку, яка враховує безпеку та якість життя людей та для випадку $C_{sl} > 0$ обчислюється як норма $\{Q\}$:

$$\|\{Q\}\| = \sqrt{w_{sl}^2 C_{sl}^2 + w_{ql}^2 (I_e^2 + I_{ec}^2 + I_s^2)}. \quad (2)$$

Для кожного регіону евклідова норма радіуса вектора якості життя людей ($\overline{C_{ql}}$) подається у такому вигляді:

$$\|\overline{C_{ql}}\| = \sqrt{I_{ec}^2 + I_e^2 + I_s^2}, \quad (3)$$

а кількісна міра якості життя людей визначається як норма проекції цього вектора на ідеальний вектор з координатами (1; 1; 1):

$$C_{ql} = \sqrt{I_{ec}^2 + I_e^2 + I_s^2} \cdot \cos(\alpha). \quad (4)$$

Кут відхилення α радіус вектора $\overline{C_{ql}}$ від ідеального вектора (1,1,1) визначається через значення вимірів I_{ec}, I_e, I_s у такий спосіб:

$$\alpha = \arccos \frac{I_{ec} + I_e + I_s}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{I_{ec}^2 + I_e^2 + I_s^2}}, \quad (5)$$

$$0 \leq \alpha \leq \arccos \frac{1}{\sqrt{3}}.$$

Отже, відповідно до SDGM метода, норма проекції радіус вектора $\overline{C_{ql}}$ на ідеальний вектор (1,1,1) характеризує якість життя людей, а просторове положення вектора $\overline{C_{ql}}$ у системі координат (I_{ec}, I_e, I_s) характеризує міру «гармонійності» сталого розвитку. Рівновіддаленість вектора $\overline{C_{ql}}$ від кожної з зазначених координат буде відповідати найбільшій гармонійності сталого

розвитку, а наближення цього вектора до однієї з координат буде вказувати на пріоритетний розвиток за відповідним виміром і нехтування двома іншими.

Величина $G=1-\alpha$ є ступенем гармонізації сталого розвитку. Вона зростає у разі наближення G до 1 і зменшується у разі наближення G до 0. Таким чином, компонента якості життя – інтегрована оцінка, яка враховує сумісно усі три виміри сталого розвитку, і, тим самим, відображає взаємозв'язок між трьома нероздільними сферами розвитку суспільства: економічною, екологічною та соціальною. Ступінь гармонізації сталого розвитку відображає баланс між його економічним, екологічним та соціально-інституціональним вимірами (Zgurovsky, 2007, 2012).

Оцінки вимірів сталого розвитку, які використані при визначенні компоненти якості життя повинні ґрунтуватися на даних про широкий спектр явищ різної природи. Також такі оцінки повинні бути інтегрованими, тобто характеризувати певну сторону життєдіяльності людини, як цілісну систему.

З метою кількісного оцінювання вимірів сталого розвитку в SDGM методі використовуються принципи побудови ієрархічної системи показників та індексів, які визначаються як L_1 -норми:

$$I_i = \sum_{j=1}^n w_j x_{i,j}, i = \overline{1, m}, \sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (6)$$

в просторі показників $X^1 \times X^2 \times \dots \times X^m$, що характеризують економічний, екологічний та соціально-інституціональний розвиток кожного i -ого регіону. Вагові коефіцієнти w_j в формулі (6) визначаються експертним шляхом.

Використання формули (6) потребує узгодження різноманітних даних, як за одиницями виміру, так і за діапазоном значень. Тому, згідно з SDGM методом, якщо більші значення показника x^i відповідають кращому стану сталого розвитку, то застосовується логістичне нормування значень показників за формулою:

$$C_{norm}(x_{i,j}) = \left(1 + e^{\frac{a-x_{i,j}}{b}} \right)^{-1}, \quad (7)$$

в якій параметри a і b обчислюються як середнє значення та стандартне відхилення по вибірці регіонів, що аналізуються.

В протилежному випадку, коли найбільші значення показника x^i відповідають гіршому стану сталого розвитку, використовується обернена до обрахованої за формулою (7) величина:

$$C_{norm}(x_{i,j}) = 1 - \left(1 + e^{\frac{a-x_{i,j}}{b}} \right)^{-1} \quad (8)$$

Сумарний вплив сукупності загроз на різні регіони України будемо оцінювати за допомогою компоненти безпеки життя людей C_{sl} (Zgurovsky, 2007, 2012).

Взаємозв'язки між процесом сталого розвитку, територією, яка знаходиться у фокусі дослідження, та геопросторовими даними можна представити у вигляді системної взаємодії між даними, моделями та методами їх обробки, як представлено на рисунку 1.

За оцінками ООН приблизно третина показників, які характеризують процес сталого розвитку не можуть бути отримані з офіційної статистики. Це означає, що для їх розрахунку потрібні інші підходи, які базуються на використанні геопросторових даних та даних дистанційного зондування Землі.

Геопросторові дані надають можливість для оцінки показників сталого розвитку під час підготовки та збору даних.

В системі взаємозв'язків можна виділити три базові сутності:

- Територія, для якої здійснюється оцінювання сталого розвитку.
- Метрика оцінювання сталого розвитку
- Геопросторові дані про територію та методи їх обробки.

Взаємодія методів ІАГД та метрики оцінювання сталого розвитку полягає у відборі нових та збагачені існуючих показників сталого розвитку на основі геопросторових даних. Тому на першому етапі взаємодія відбувається на рівні вхідних даних системи (Рис.1).

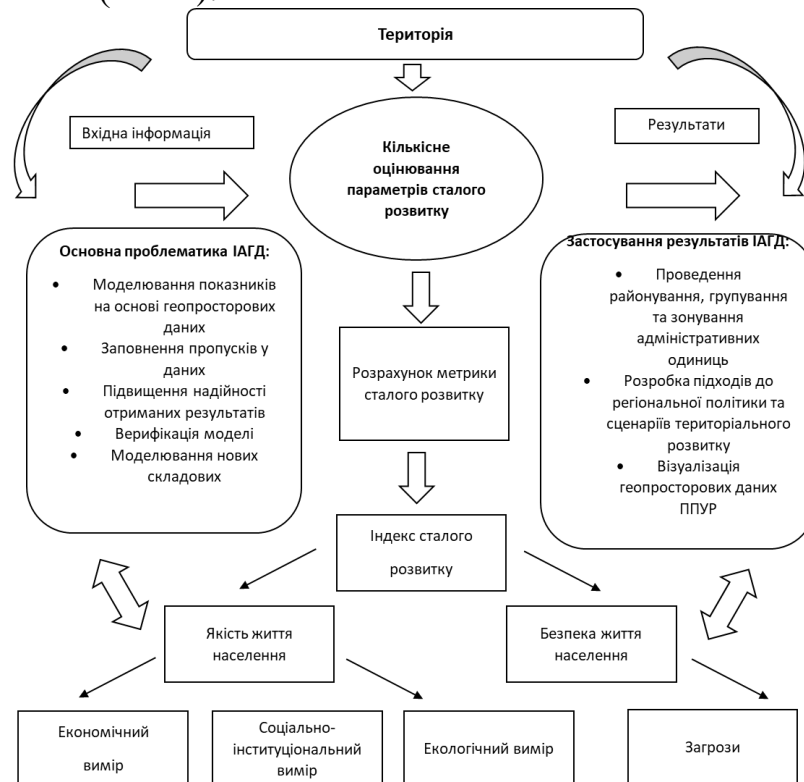


Рис. 1. Взаємозв'язки між метрикою сталого розвитку та методами інтелектуального аналізу геопросторових даних.

Основною проблематикою застосування ІАГД на етапі підготовки вхідних даних є: моделювання показників на основі геопросторових даних; заповнення пропусків у даних; підвищення надійності отриманих результатів; верифікація моделі; моделювання нових складових показників.

Після обробки даних ІАГД дозволяє отримати додаткові результати за допомогою таких підходів як:

- Проведення районування, групування та зонування адміністративних одиниць.
- Розробка підходів до регіональної політики та сценаріїв територіального розвитку.
- Візуалізація геопросторових даних.

Сукупність застосування методів ІАГД дозволяє підвищити надійність та точність показників сталого розвитку, запропонувати підходи до їх практичної реалізації.

Визначено, що до основних джерел геопросторових даних відносяться векторні та растрові формати даних, які зберігаються у вигляді баз геоданих, дані дистанційного зондування Землі, матеріали польової інструментальної зйомки, геотегована інформація у мережі Інтернет.

В якості основної системи обробки геопросторових даних обрано геоінформаційну систему з функціями збору, зберігання, аналізу та візуалізації геопросторових даних, а також інтеграція з іншими інформаційними платформами для сумісної обробки даних. Інтегрованою основою для сумісної обробки геоданих виступає інфраструктура геопросторових даних (ІПД) - ієрархічна впорядкована система, побудована з використанням кібертехнологій та геоінформаційних підсистем, заснована на загальних просторових даних і метаданих, а також мережі географічних інформаційних вузлів - геопорталів і каталогів метаданих.

Сформульовано визначення ІАГД на основі підходу до сукупності методів інтелектуального аналізу з врахуванням особливостей обробки даних, які пов'язані з просторовим місцеположенням та топологічними відносинами між об'єктами.

Інтелектуальний аналіз геопросторових даних – напрям інтелектуального аналізу даних, що направлено на системний аналіз геопросторових даних з метою пошуку закономірностей та відносин в даних, які засновані на просторовому розташуванні та топологічних відношеннях.

ІАГД знаходиться на перетині ГІС, інтелектуального аналізу даних, статистики та прикладних галузей досліджень. З цими методами широко використовуються механізми інтеграції просторової та непросторової інформації на основі процесів географічної прив'язки та геокодування. Це надає змогу повноцінно використовувати у ГІС інформацію із зовнішніх непросторових баз даних, які супроводжуються та наповнюються іншими органами управління.

Необхідною складовою є бази знань структуровані за предметними галузями, які використовуються у СППР.

Аналітичний блок спирається на використання геоінформаційної системи як платформи для обробки та аналізу вхідної інформації. Тут можуть бути виділені функції стандартизації та нормалізації, сумісної обробки, інтелектуального аналізу даних. На цьому етапі ГІС може взаємодіяти з іншими системами обробки даних та бути складовою СППР. Ситуаційний рівень пов'язаний з необхідністю прийняття рішень при аналізі конкретних ситуацій та сценарного моделювання за допомогою інструментів СППР та ГІС.

До ІАГД відноситься декілька напрямів, які дозволяють провести різностороннє дослідження даних з урахуванням геопросторової складової. До їх числа відносяться методи класифікації геопросторових даних, кластеризація та регіоналізація, правила асоціацій, геостатистика, геовізуалізація. Цей перелік продовжує розширюватися разом із розвитком ІАГД. Кожний із цих напрямів містить сукупність методів, за допомогою яких відбувається аналіз даних (рис.2).



Рис.2. Класифікаційна структура методів ІАГД.

В межах дослідження було розроблено рішення шести прикладних задач моделювання складових сталого розвитку на основі моделей та методів обробки геопросторових даних (рис. 3).

В роботі вирішено задачі наступних класів:

1. Визначення впливу просторових відносин на показники сталого розвитку.
2. Відновлення пропусків значень у статистичних рядах метрики сталого розвитку.
3. Виділення однорідних територіальних утворень для реалізації заходів регіональної політики.
4. Аналіз безпекового виміру на різних територіальних рівнях.

5. Аналіз екологічної компоненти землекористування.
6. Розрахунок метрики сталого розвитку на основі даних ДЗЗ.



Рис. 3. Структура задач, що вирішуються в межах дослідження

Задача 1 вирішується моделюванням просторових відносин на основі континуальної моделі структурування даних. Запропоновано методи побудови трендових моделей для аналізу показників сталого розвитку з використанням алгоритмів поліномів побудови та ранжування трендових поверхонь 1-3 ступенів.

Задача 2 ґрунтується на застосуванні інтерполяційних моделей для визначення невідомих значень методом побудови поверхні з підбором варіаграм на основі порівняльного аналізу детермінованих та стохастичних методів інтерполяції.

Задача 3 моделюється здійсненням регіоналізації регіонів України у багатовимірному просторі на основі методів кластеризації з врахуванням просторових відносин алгоритмами нечіткої самоорганізації k-середніх.

Задача 4 вирішує проблему аналізу великих об'ємів геопросторових даних з часовою прив'язкою на основі групування великих просторово-часових даних методом організацій в просторово-часовому кубі спільно з кластеризацією гарячих точок та використанням непараметричного тесту Манна-Кендалла і статистики Getis-Ord Gi.

Вирішення задачі 5 побудовано на класифікації адміністративних одиниць за співвідношенням типів землекористування із застосуванням карт самоорганізації Кохонена на основі нейронної мережі без навчання.

Задача 6 вирішується застосуванням нейронних мереж для аналізу економічної компоненти сталого розвитку методом навчання згорткових нейронних мереж з градієнтним алгоритмом навчання.

Інструментарій вирішення поставлених задач ґрунтується на використанні геоінформаційної системи ArcGIS з відповідними розробленими бібліотеками на основі мови програмування Python та бібліотеки просторового аналізу Arcpy.

В другому розділі досліджено розробку методів ІАГД для цілей сталого розвитку, які реалізуються на основі використання апарату геоінформаційних систем, який передбачає спеціальні процедури організації зберігання та обробки геоданих. Зберігання геопросторових даних для розв'язання проблеми оцінювання індикаторів сталого розвитку організовано на основі векторних та растрових моделей організації даних в базах геоданих. Встановлено особливості застосування ІАГД під час обробки даних на основі топологічних та нетопологічних векторних та растрових моделей.

Встановлено, що базові методи ІАГД визначаються типом розподілу даних на основі гіпотези імовірності оцінки виникнення аномальних значень на обмеженій просторовій відстані. Для визначення цих параметрів запропоновано використання методів просторової автокореляції між геопросторовими об'єктами (Глобальний індекс І Морана), показника середнього найближчого сусідства, локального індексу Морана. Для цілей просторової кластеризації запропоновано проведення процедури аналізу гарячих точок (Getis-Ord G_i^*), в якому ефективність угруповання об'єктів вимірюється за допомогою псевдо-F-статистики Калінскі-Харабаза. Просторова кластеризація в цьому випадку визначається просторовими обмеженнями топології. Запропоновано підходи до моделювання просторових відносин методами зворотної відстані, діапазонів відстаней, зон індиферентності, суміжності та сусідства.

Сукупність цих методів вперше застосовано на прикладі аналізу великих геопросторових даних з використанням побудови моделі просторово-часового кубу – техніки 3D-візуалізації та аналізу даних, що призначена для одночасного аналізу просторових та часових характеристик процесу сталого розвитку. Згідно з цим, точки траекторій відображаються у тривимірному просторі, де вертикальна вісь зазвичай відповідає за час.

Приклад використання просторово-часового кубу для аналізу даних подій у телекомунікаційних мережах Vodafone на території західної частини України надає змогу більш ефективно використовувати отримані дані, перш за все у безпекових цілях, у задачах підвищення просторової та часової дискретності безпекового параметру моделі сталого розвитку.

Для виявлення тенденцій в серії даних було використано непараметричний тест Манна-Кендалла. Нульова гіпотеза H_0 полягає в тому, що вибірка даних хронологічно впорядкована, незалежна і ідентично розподілена. Альтернативна гіпотеза H_A полягає в тому, що дані відповідають однозначному розподілу. Статистика тесту Манна-Кендалла розраховується за формулою:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(X_j - X_k), \quad (9)$$

де

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x > 0 \\ 0 & \text{if } x = 0 \\ -1 & \text{if } x < 0 \end{cases}. \quad (10)$$

Середнє $S \in E[S] = 0$ та варіація $\sigma^2 \in$

$$\sigma^2 = \{n(n-1)(2n+5) - \sum_{j=1}^p t_j(t_j-1)(2t_j+5)\}/18, \quad (3)$$

де p - число зв'язаних груп в наборі даних, t_j - кількість точок даних в j зв'язаній групі. Статистика S приблизно нормально розподілена за умови, що використовується наступне Z-перетворення:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sigma} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sigma} & \text{if } S < 0 \end{cases}, \quad (11)$$

Статистика S є дуже близькою до τ Кендела як показано нижче:

$$\tau = \frac{S}{D}, \quad (12)$$

де

$$D = \left[\frac{1}{2}n(n-1) - \frac{1}{2}\sum_{j=1}^p t_j(t_j-1) \right]^{1/2} \left[\frac{1}{2}n(n-1) \right]^{1/2}. \quad (13)$$

Отриманий набір даних Vodafone знаходиться у часовому відрізку з 1 червня 2017 року по 31 серпня 2017 року. За для зручності аналізу було використано 5-ти денний часовий крок. У наслідок чого інструментом було побудовано куб висотою у 19 бінів (Рис. 4).

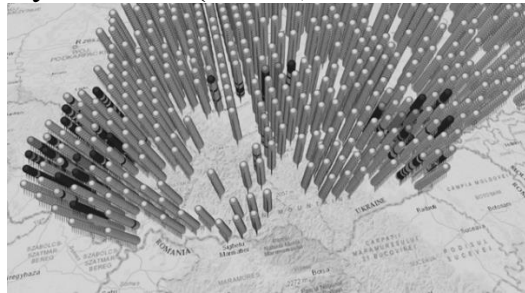


Рис. 4. 3D візуалізація просторово-часового кубу, західних регіонів України

Для цілей аналізу було використано набір даних обсягом 1,5 млн. записів про події у мережі. В результаті було запропоновано використання методу гарячих точок та статистики Манна-Кендела для визначення закономірностей та аномальних статистичних викидів у розподілі даних, які характеризувалися просторовою та часовою динамікою. Було побудовано візуалізацію даних у вигляді тривимірних карт та встановлено кількісні зв'язки між суспільно значущими подіями та активністю абонентів, що дозволяє вимірювати безпековий рівень процесу сталого розвитку у режимі наближеному до реального часу.

У третьому розділі досліджено проблему класифікації та кластеризації геопросторових даних для цілей сталого розвитку території.

Метою класифікації є отримання деякої наперед заданої або не заданої кількості груп об'єктів (класів об'єктів). У межах кожного класу об'єкти повинні бути максимально «схожі» один на одного в деякому сенсі, однорідні, а об'єкти з різних класів - максимально «відрізнятися».

Визначено основні підходи до кластеризації геопросторових даних у випадках використання ієрархічних та неієрархічних методів кластеризації. Встановлено можливості організації багатовимірного простору з урахуванням геопросторового положення в двовимірному та тривимірному просторах. В цьому випадку можна виділити варіанти сумісного використання ознак геопросторового положення та непросторових ознак, стадійного застосування перед початком основної процедури кластеризації і після та незалежної кластеризації в різних ансамблях методів.

Методи класифікації без навчання поділено на два великі класи алгоритмів:

- методи, засновані на описі класів ядрами (паралельні і послідовні);
- ієрархічні процедури (агломеративні і дивізійні).

Запропоновано модифікацію існуючих методів автоматичної класифікації для цілей районування на основі розроблення загальної схеми алгоритму районування к-медоїдів як об'єктів, що мають мінімальні відмінності в просторі ознак з іншими об'єктами в кластері, за якою:

1. Задається метрикою d і K , початковими центрами класів c_{11}, c_{12}, c_{1K} (вибравши їх, наприклад, випадковим чином, отримавши за допомогою експерта, евристичного алгоритму або обчисливши за навчальною вибіркою):

$$c_{1i} = (c_{1i}^{(1)}, \dots, c_{1i}^{(M)}), i \in \{1, \dots, K\} \quad (14)$$

Відзначимо, що початкові центри класів обов'язково повинні збігатися з реальними окремими територіальними одиницями (ОТО), мати географічну прив'язку, тобто

$$c_{1i} \in O \forall i \in \{1, \dots, K\} \quad (15)$$

Сформуувати матрицю суміжності $G = (g_{ij})$.

2. Покласти $n = 1$.

3. Класифікувати всі ОТО до центрів c_{n1}, \dots, c_n мінімальності відстані до них і суміжності в повній відповідності з наведеним вище алгоритмом.

4. Порахувати вектора середніх для кожного з класів, які не є в загальному випадку реальними об'єктами і не мають географічної складової:

$$\bar{o}_i = \frac{1}{N_i} \sum_{i=1}^{N_i} o_i, \text{ де} \quad (16)$$

$$S_i = \{o_{1i}, \dots, o_{iN_i}\}, i \in \{1, \dots, K\}. \quad (17)$$

5. Знайти ОТО, які найближчі до нових середніх по кожному класу тощо.

$$c_{n+1i} \in O: d(c_{n+1i}, \bar{o}_i) \leq d(o_{ij}, \bar{o}_i), i \in \{1, \dots, K\}, t_i, j \in \{1, \dots, N\}. \quad (18)$$

У разі досягнення мінімуму відразу на двох і більше ОТО, включити рандомізацію.

6. Якщо $c_{ni} = c_{n+1i} \forall i \in \{1, \dots, K\}$, кінець, припустити по - іншому $n = n + 1$ і перейти до кроку 3.

У разі, якщо число ОТО і ознак велике, кількість ітерацій обмежують або заздалегідь заданим числом, або відсотками зміни знову отриманих на кроці 3 медоїдів від попередніх.

Показано, що методи районування відповідають одному з підрозділів прикладної статистики, який носить назву класифікації при заданих обмеженнях щодо зв'язку між об'єктами Розроблено алгоритм побудови моделі сукупності однорідних територіальних зон.

Запропоновані засоби проведення кластерного аналізу розроблено у програмному середовищі ArcGIS, що дозволяє класифікувати просторові об'єкти за просторово-атрибутивними параметрами. Неієрархічні методи було застосовано для апробації розробленого підходу на основі кластерного аналізу даних про параметри сталого розвитку в Україні. На основі застосування просторово модифікованих методів k-середніх та нечітких k-середніх визначено на основі кластеризації у п'ятивимірному просторі основні кластери регіонів України за складовими показниками сталого розвитку з урахуванням геопросторового положення.

П'ятивимірний простір характеризує якість життя населення як ключову характеристику сталого розвитку, що включає індекс економічного, екологічного та соціально-інституціонального розвитку, категорію політики «Безпека» та гармонізацію складових якості життя.

Кластеризація в п'ятивимірному просторі дозволила агрегувати регіони з виділенням трьох основних макрорегіонів для реалізації цілей політики сталого розвитку до 2030 р. Найбільший вклад в регіоналізацію здійснив параметр безпеки життєдіяльності (Рис.5).

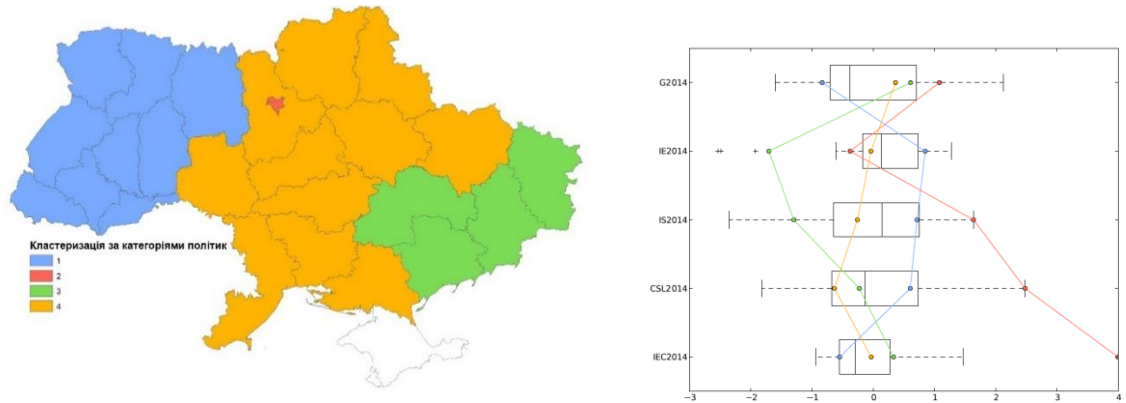


Рис. 5. Картограма кластеризації регіонів України за категоріями політики (2014) р. та діаграма конфігурації кластерів за категоріями політики

Таблиця 1. Показники групування кластерів

Номер кластеру	Стандартна відстань	Сума квадратів відхилень
1	0,1245	11,7049
2	0,0509	2,1738
3	0,1883	15,8084
4	0,1458	21,0225

Методи кластеризації горячих–холодних точок модифіковано для визначення просторових кластерів на прикладі даних безпекової складової сталого розвитку про стан сільськогосподарських посівів та динаміку виникнення військових конфліктів. Інструмент працює шляхом аналізу кожного об'єкта в контексті сусідніх об'єктів. Щоб бути статистично суттєвою гарячою точкою об'єкт повинен мати високе значення і бути оточений іншими об'єктами з високими значеннями. Локальна сума для об'єкта і його сусідів порівнюється пропорційно до суми всіх об'єктів.

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{S \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{j,j}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{i,j})^2}{n-1}}}, \quad (19)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{X})^2}, \quad (20)$$

де x_j — атрибутивне значення для подій j , $w_{i,j}$ — просторова вага між подіями i та j , n — загальна кількість подій, \bar{X} — середнє арифметичне значень подій, S — дисперсія.

Застосування методу кластеризації горячих–холодних точок дозволяє виділити локальні зони з подібною метрикою складових сталого розвитку.

У **четвертому розділі** досліджено методи геостатистичного аналізу просторових даних, що характеризують складові сталого розвитку. Розв'язання вказаної проблеми базується на принципі детермінованості у просторі подібності характеристик в залежності від функції розподілу автокореляційних зв'язків між місцем та величиною значення.

Визначено підходи до аналізу та інтерполяції просторово розподілених даних, які умовно розділені на дві групи:

- детерміновані моделі (інтерполятори) – лінійна інтерполяція на основі тріангуляції, метод зворотних відстаней в ступені, мульти-квадратичні рівняння;
- стохастичні моделі, що базуються на імовірнісній інтерпретації (Рис. 6).

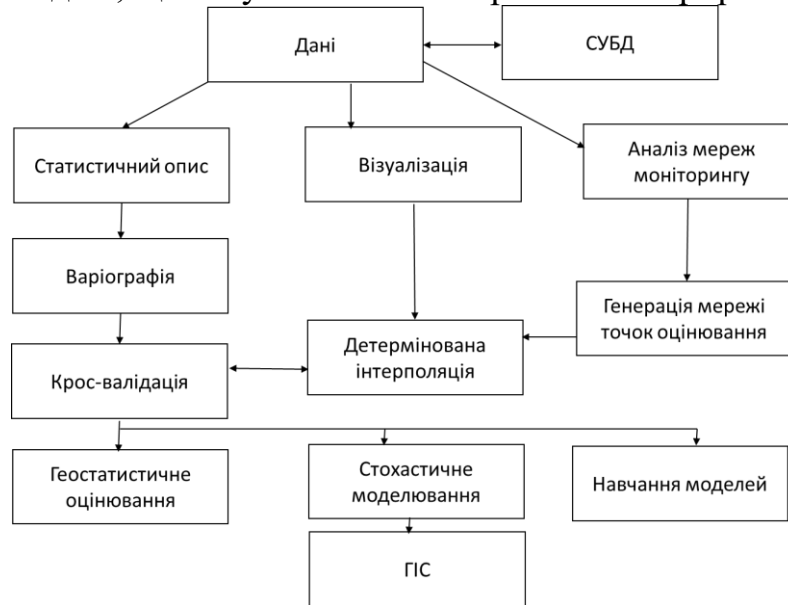


Рис. 6. Блок-схема методології послідовного аналізу та моделювання просторово-розподілених даних

Розроблено методику ІАГД для розрахунків складових сталого розвитку із застосуванням сукупності методів геостатистичного аналізу, що включає в себе конкуруючі набори структур на основі лінійних і нелінійних методів, параметричних і непараметричних моделей для аналізу, обробки та подання просторової інформації.

Розроблено метод застосування трендових поверхонь на основі картометричних обчислень для розв'язання задачі представлення просторового тренду. Встановлено наявність, функціональний та кількісний зв'язок вкладу складових індексу в тренд сталого розвитку для складових якості та безпеки життя людей на території України. Отримано функціональний та кількісний зв'язок просторових розподілів тренду кожного індексу з використанням поліноміальних інтерполяторів, що представляють значення в точці у вигляді полінома від координат. У двовимірному випадку - для точки x з координатами (x, y) $Z^*(x, y) = P_n(x, y)$, де P_n - поліном n -го ступеня.

Аналіз поліноміальної поверхні 1, 2 ступенів для індексу сталого розвитку дозволяє впевнено стверджувати про існування географічного тренду в розподілі індексу (рис.7).

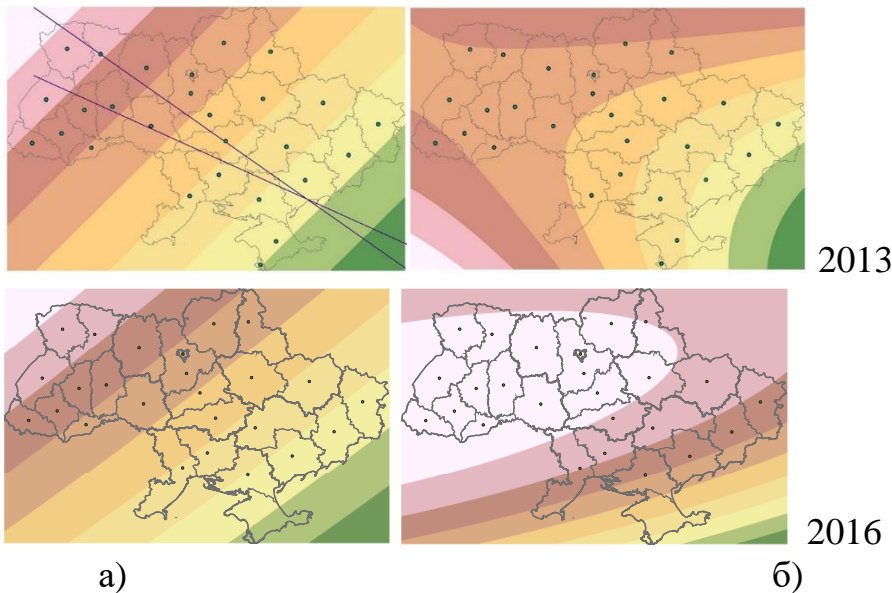


Рис.7. Розподіл трендових моделей для індексу сталого розвитку: б – поліном 1 ступеню в 2013, 2016 рр.; в – поліном 2 ступеню в 2013, 2016 рр.

Трендові поверхні можуть бути оцінені як за допомогою значень коефіцієнтів, які використовувались у поліномі, так і описом фізичних характеристик трендової поверхні (Табл. 2).

Таблиця 2. Порівняльний аналіз імовірності просторового тренду

Назва індексу	Середній вклад тренду при поліномі 1 ступеню	Середній вклад тренду при поліномі 2 ступеню
<i>Isd</i>	0,72	0,66
<i>Csl</i>	0,70	0,625
<i>Cql</i>	0,66	0,50

Встановлено, що основною геостатистичною моделлю, яка в тому чи іншому вигляді використовується в усіх методах геостатистики, є стохастична модель крігінг (kriging) - лінійний інтерполятор, що використовує для отримання оцінки значення функції в деякій точці простору на основі експериментально виміряних значень цієї функції в інших точках.

Всі інтерполятори сімейства крігінга є різного роду модифікаціями базового лінійного регресійного оцінювача $Z^*(x)$, що визначається таким чином:

$$Z^*(x) - m(x) = \sum_{i=1}^{n(x)} \lambda_i(x) [Z(x_i) - m(x_i)], \quad (21)$$

де $\lambda_i(x)$ - вагові коефіцієнти, що стосуються даних $z(x_i)$. Значення $z(x_i)$ інтерпретуються як реалізації випадкової змінної $Z(x_i)$. Величини $m(x)$ і $m(x_i)$ є математичними очікуваннями випадкових змінних $Z(x)$ і $Z(x_i)$. Число даних, що використовуються при оцінці, і значення вагових коефіцієнтів можуть змінюватися в залежності від місця розташування оцінюваної точки x .

Тип оцінювача залежить від моделі випадкової функції $Z(x)$. Розкладемо її на дві компоненти - детермінований тренд $m(x)$ і випадкову нев'язку $R(x)$:

$$Z(x) = m(x) + R(x). \quad (22)$$

Компонента нев'язки $R(x)$ моделюється як стаціонарна випадкова функція з нульовим математичним очікуванням $m_R(x)$ і коваріацією $C_R(h)$:

$$E\{R(x)\} = 0, \\ \text{Cov}\{R(x), R(x+h)\} = E\{R(x) R(x+h)\} = C_R(h).$$

Математичне сподівання просторової змінної Z в точці x , таким чином, буде дорівнювати значенню тренда:

$$E\{Z(x)\} = m(x).$$

Порівняльний аналіз застосування детермінованих та стохастичних методів інтерполяції показників якості та безпеки життя в моделі сталого розвитку для побудови квазістатистичних поверхонь показав переважання методів стохастичного моделювання. Для порівняльного моделювання було використано метод ординарного кригінгу та обернено-зваженої відстані. Результати моделювання відображено на рис. 8.

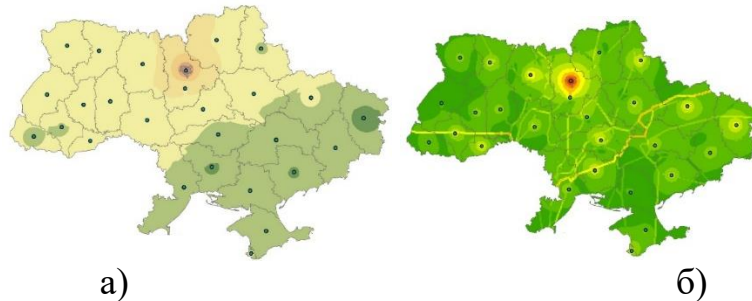


Рис. 8. Оцінка інтерполяційного розподілу виміру якості життя населення методами а – ординарного кригінгу; б – обернено зваженої відстані.

На основі даних про небезпеку вмісту миш'яку у підземних водах на території України було виконано порівняльний аналіз детермінованих та стохастичних методів інтерполяції. В результаті було удосконалено застосування методу кригінгу на основі підбору сферичної моделі варіограми, що дозволило отримати найкращі статистичні оцінки для інтерпольованої поверхні (Табл. 3).

Таблиця 3. Оцінка точності детермінованих та стохастичних моделей

<i>Метод</i>	<i>Сер. квадр.похибка</i>	<i>Коеф. детермінації</i>
ОЗВ, степінь 1	0.003682343	0.1687547
ОЗВ, степінь 2	0.003577271	0.549687
ОЗВ, степінь 3	0.003934212	0.5831523
Крігінг, експ.	0.003400866	0.4884747
Крігінг, гаус.	0.003592975	0.3921688
Крігінг, сфер.	0.003395039	0.502267
Крігінг, ордин.	0.003462349	0.7788645
Кокрігінг	0.003409049	0.5306521
Індикаторний крігінг	0.003413332	0.5115193

В результаті було з'ясовано, що найменшу квадратичну похибку надає використання методу сферичного крігінгу. В той же час найбільший коефіцієнт детермінації має метод ординарного крігінгу. Визначено, що стохастичні методи інтерполяції дають статистично кращі оцінки за показниками середньої квадратичної похибки та коефіцієнту детермінації, що дозволяє перейти від дискретних до континуальних оцінок складових сталого розвитку та підвищити точність цих оцінок.

В п'ятому розділі досліджено використання нейромережевих методів в ІАГД для моделювання метрики сталого розвитку. Визначено, що нейромережеві методи застосовуються не тільки для аналізу даних, а також для побудови моделей процесів, що розгортаються в багатовимірних просторах.

Для апробації застосування нейронних мереж було використано нейронні мережі без навчання для вирішення завдання кластеризації адміністративних одиниць України за структурою сталого землекористування та з навчанням для вирішення завдання оцінки економічного виміру індексу сталого розвитку на мікрорівні для окремих населених пунктів та територій.

В ході дослідження було розроблено схему та методику обробки даних для задач дослідження, яка складається з етапів предпроцесінга даних та отримання зональної статистики. На основі отриманих статистичних даних було побудовано кластери розподілу існуючих адміністративних районів України за співвідношенням основних типів земних покривів на основі використання одного з видів нейронних мереж – карт самоорганізації Кохонена.



Рис. 9. Алгоритм аналізу адміністративних одиниць за показниками землекористування з використанням нейронних мереж.

Вхідний простір даних $X \subset \mathcal{R}^n$ проектується, найчастіше, на двовимірну решітку вузлів нейронів. Кожному вузлу i , $i = \overline{1, k}$, ставиться у відповідність параметричний вектор моделі $m_i = \{\mu_{1i}, \mu_{2i}, \dots, \mu_{ni}\} \in \mathcal{R}^n$, де k - кількість вузлів

нейронів. У той же час вхідний вектор $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \in X \subset \mathbb{R}^n$ пов'язаний одночасно з усіма нейронами через скалярні ваги μ_{ji} .

Перед початком проведення навчання нейронної мережі всі ваги μ_{ji} ініціалізуються за допомогою генератора випадкових величин. Після ініціалізації мережі запускається так званий процес конкуренції, який полягає у визначенні найбільш подібних нейронів до векторів вхідних даних. Найбільш поширеним підходом до даного процесу є обчислення Евклідової відстані:

$$\|x - m_i\| = \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_j - \mu_{ji})^2}, \quad i = \overline{1, k}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (23)$$

Після подання вхідних векторів на входи нейронів, відбувається змагання нейронів шару Кохонена за правилом «переможець отримує все», згідно якого обирається нейрон-переможець, що є найближчим до вхідного вектора:

$$c = \arg \min_{i=\overline{1, k}} \{\|x - m_i\|\}, \quad (24)$$

Після визначення нейрона-переможця здійснюється визначення околу його впливу на сусідні нейрони. Нейрон-переможець знаходиться в центрі топологічного околу. При збудженні, він впливає на просторово близькі до нього нейрони, проте даний вплив зменшується із збільшенням відстані між нейронами. Даний процес призводить до визначення топологічного сусідства нейронів.

На заключному етапі побудови карти самоорганізації відбувається процес синаптичної адаптації. Даний процес полягає у процедурі корегування вектора синаптичних ваг нейрона-переможця та його сусідів відповідно до вектора вхідного показника:

$$m_i(t+1) = m_i(t) + v(t)h_{ci}(t)[x(t) - m_i(t)], \quad (25)$$

де $v(t)$ – параметр швидкості навчання; $h_{ci}(t)$ – функція топологічного сусідства з центром у нейроні-переможці c . Результат налаштування нейронних мереж можна представити у вигляді самоорганізації Кохонена.

Інтенсивність освітленості тісно пов'язана з важливим показником економічної активності — споживанням електроенергії. Встановлено, що в країнах з низьким і середнім рівнем доходу на душу населення змінення нічної освітленості на 1 % приблизно дорівнює зміні доходу на 1 %. Освітлення території, яке вимірюється на знімках нічного часу доби, є індикатором багатьох соціальних процесів, в тому числі економічного розвитку.

За результатами сумісного аналізу статистичного розподілу освітленості та індикаторів сталого розвитку зроблено наступні висновки.

Статистика освітленості може бути використана в якості індикатора соціально-економічного розвитку. Розрахунок індексу економічного виміру має достатньо високе значення кореляції з освітленістю (0,83), що підтверджує тісний зв'язок між цими показниками. Найбільше значення кореляції мають показники

регіональної освітленості з загрозою «Вплив на змінювання клімату». Наявність тісного зв'язку між ступенем освітлення території у нічний час та індексом економічного розвитку дозволило побудувати функціональну залежність між показниками та отримати навчальний набір даних для нейронної мережі.

Матриця кореляційно-регресійних зв'язків дозволила виявити зв'язки яскравості освітлення та економічного виміру сталого розвитку з урбанізованими територіями, в тому числі промисловими та житловими зонами, а також сільськогосподарськими територіями.

Для встановлення зв'язку використано показники просторової кореляції та просторової регресії.

Географічна зважена локальна регресія визначається як:

$$u_i(x_k, y_k) = \beta_{0i}(x_k, y_k) + \beta_{1i}(x_k, y_k) * v_{1i} + \beta_{2i}(x_k, y_k) * v_{2i} + \dots \\ \dots + \beta_{pi}(x_k, y_k) * v_{pi} + \varepsilon_i \quad (26)$$

для спостереження i , де $u_i(x_k, y_k)$ - залежна змінна, що оцінюється в місці i ; v_{pi} - пояснююча перемінна; $\beta_p(x_k, y_k)$ - локальні коефіцієнти регресії; p кількість перемінних, та ε_i залишок оцінений в місці розташування i . Кожне локальне регресійне $u_i(x_k, y_k)$ рівняння вирішується із різними вагами спостережень, що базуються на функції розпаду з відстанню, що центрована на спостереження i .

Географічно зважений локальний коефіцієнт кореляції Пірсона дозволяє встановити тісноту зв'язку між просторово розподіленими даними. Для цього він розраховується для кожної пари значень двох явищ у місцях їх розміщення за формулою:

$$r_i(x_k, y_k) = \frac{\sum_{j=1}^n \varpi_j * (u_j - \bar{u}) * (v_j - \bar{v})}{(n-1) * S_u * S_v} = \beta_1(x_k, y_k) \frac{S_u}{S_v} \quad (27)$$

де, $r_i(x_k, y_k)$ - це коефіцієнт кореляції, (x_k, y_k) - це місце спостереження i ; u_i та v_i - це окремі спостереження; \bar{u} та \bar{v} - це середні значення двох перемінних, ϖ_j це вага, яку має кожний вимір в залежності від функції розпаду з відстанню, що центрована на спостереження i ; n - це розмір вибірки; S_u та S_v стандартні відхилення двох перемінних; $\beta_1(x_k, y_k)$ - розрахунковий параметр для двовимірної місцевої регресії спостереження i .

Було застосовано навчання згорткової нейронної мережі з градієнтним спуском на основі мультиспектральних зображень та знімків нічного освітлення, які дозволили з високою надійністю розпізнавати на знімках території міських та сільських населених пунктів, промислових зон та сільськогосподарських угідь.

Для навчання було використано архітектуру мережі U-Net, як одного із зразків архітектур CNN для задач сегментації зображень, коли потрібно не тільки визначити клас зображення цілком, але і сегментувати його області за класом, тобто створити маску, яка буде розділяти зображення на кілька класів.

Архітектура складається з шляху згортання для захоплення контексту і шляху симетричного розширення, який дозволяє здійснити точну локалізацію.

Шлях згортання складається з повторного застосування двох згорток 3×3 , за якими слідують Ініт ReLU і операція максимального об'єднання (2×2 ступеню 2) для зниження розрізнення (рис. 10).

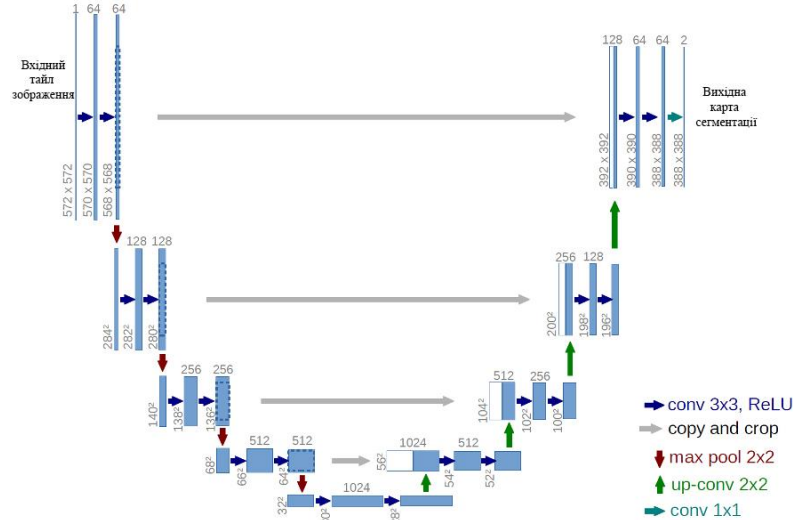


Рис. 10. Архітектура нейронної мережі U-net.

Мережа навчається методом стохастичного градієнтного спуску на основі входних зображень і відповідних їм карт сегментації. Через згортку вихідне зображення менше входного сигналу на постійну ширину смуги.

Оцінка точності навчання мережі відображена на рисунку 11.

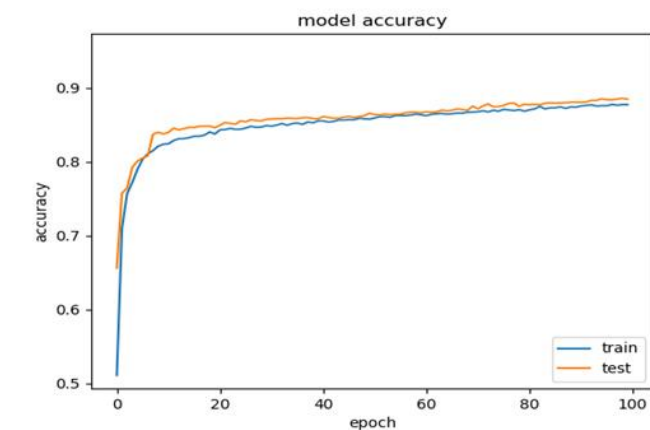


Рис. 11. Оцінка надійності навчання мережі.

Точність навчання – 87%

Середня помилка тестової вибірки 12 %

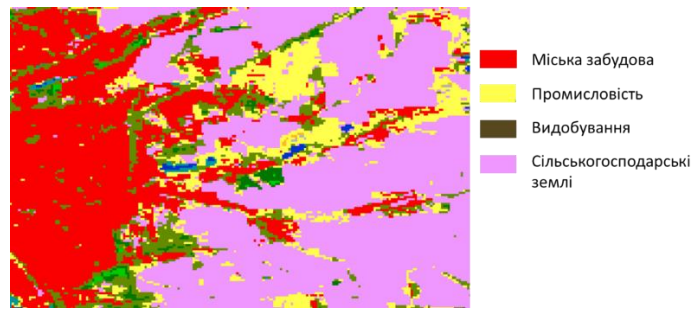


Рис. 12. Сегментація зображень за класами використання земель.

Під час навчання було застосовано різні варіанти функцій активації згорткової мережі. Найкращий результат було досягнуто з використанням функції softmax. Надійність навчання мережі склала 87%. Це дозволило вперше оцінити значення індексу виміру економічного розвитку для окупованих територій України та АР Крим, сформувати розподіл значень індексу для адміністративних одиниць рівня району та міста, а також визначити динаміку індексу за останні роки з використанням інформації з космічних знімків (Рис. 13).

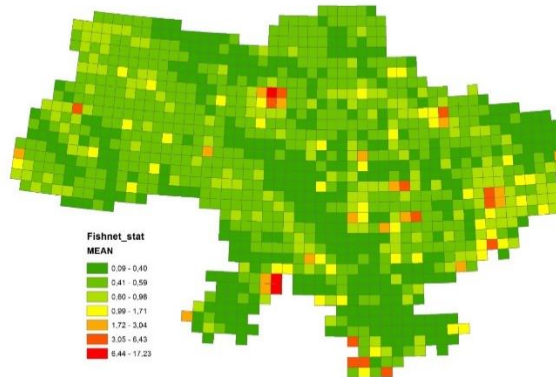


Рис. 13. Розраховані показники індексу економічного виміру в 2014 р.

З метою переходу від регулярної мережі комірок (D) до одиниць адміністративно-територіального устрою (A) території України (R) було запропоновано розрахунок зональної статистики на базі правил кон'юнкції:

$$D_n \cup A_n \in R$$

В результаті було отримано значення індексу економічного розвитку для адміністративних одиниць рівня район та місто обласного значення. Порівняння індексу гармонізації сталого розвитку за базовою методикою та з використанням методів обрахунку за сегментацією показало збільшення показнику для макрорегіонів України в середньому на 15%.

Таблиця 4. Порівняння індексу гармонізації сталого розвитку за методикою SDGM та методикою сегментації за ДЗЗ

Макрорегіон	G за методикою SDGM	G_{sd} за методикою ДЗЗ	Різниця індексів, %
Західноукраїнський	0,537	0,597	11,173
Причорноморський	0,616	0,7184	16,558
Центральноукраїнський	0,613	0,72495	18,254

Слобідська Україна	0,709	0,83535	17,813
Донбас та Придніпров'я	0,589	0,64735	9,898
м.Київ	0,726	0,8449	16,253
Середнє значення	0,631	0,726417	14,991

Розроблені методи та алгоритми запропоновано реалізувати у вигляді системи підтримки прийняття рішень на основі ІАГД, яка складається з наступних основних блоків: блок постановки задач, блок управління даними, блок аналізу та моделювання, блок оцінювання результатів та прийняття рішень (рис. 14).

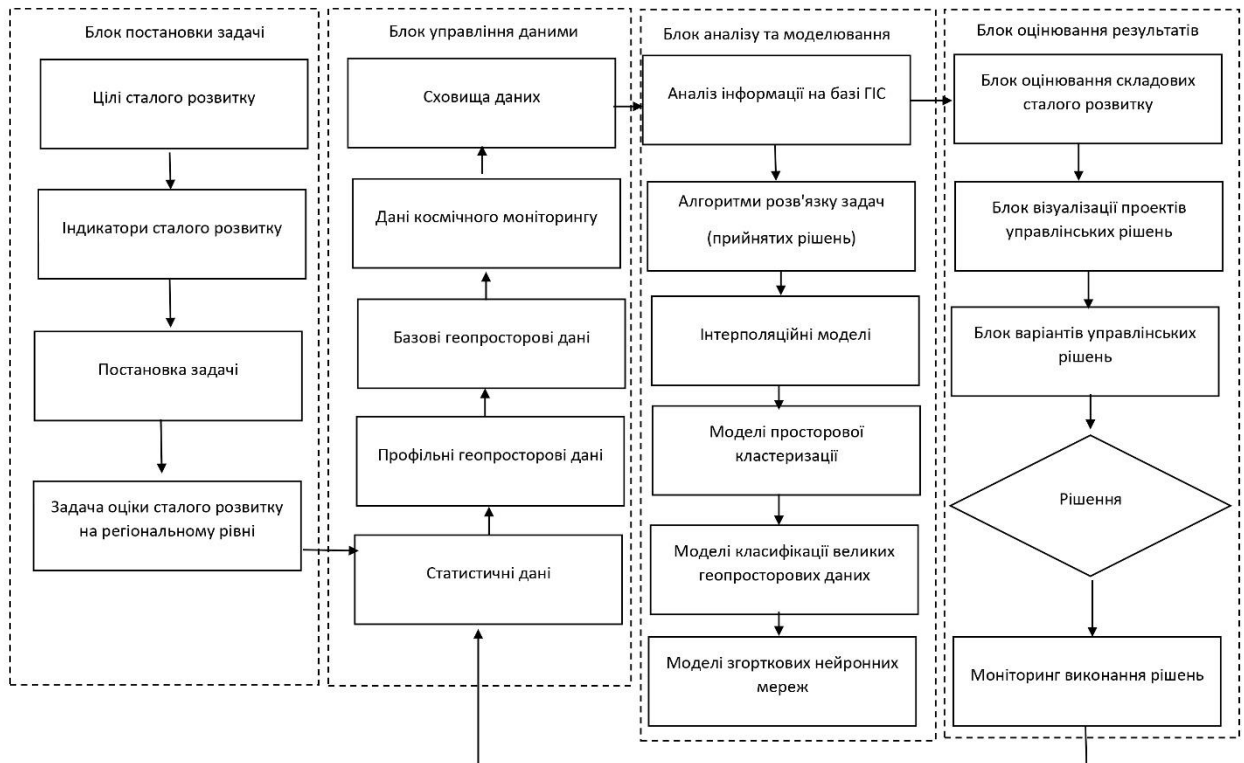


Рис. 14. Загальна архітектура СППР на основі методології інтелектуального аналізу в задачах сталого розвитку.

Блок постановки задач ґрунтується на концепції сталого розвитку. В основу цієї концепції покладено управління досягненням визначених цілей сталого розвитку. На основі сукупності цілей побудовано математичну модель індикаторів сталого розвитку, яка оцінює якість життя та безпеку населення. Постановка задачі формується на основі прогнозування складових сталого розвитку на основі геопросторових даних.

Блок управління даними формується на основі використання даних з просторових та непросторових баз даних. Основні типи геопросторових даних представлені векторними та растровими моделями. До основних видів векторних моделей відносяться базові та профільні набори даних, що містять інформацію у форматі точкових об'єктів, ліній та полігонів про адміністративно-територіальний устрій та локалізацію подій. Обробка та аналіз даних

відбувається в блоці аналізу та моделювання на базі компонентів розподіленої веб-орієнтованої геоінформаційної системи, що призначена для управління та обробки даних з геопросторовою прив'язкою. Для цілей аналізу використовуються як окремі методи ГІС-аналізу, методи інтелектуального аналізу даних, а також ансамблі методів, які поєднують ці групи методів з методами системного аналізу.

Блок оцінювання результатів та прийняття управлінських рішень містить модуль оцінювання складових сталого розвитку на основі результатів обробки геопросторових даних та математичної моделі. Для підтримки прийняття рішень використовується блок візуалізації даних у вигляді електронних картографічних представлень та інтерактивних дашбордів.

СППР розроблена на базі серверної платформи ArcGIS Enterprise 10.6, яка є базовою системою програмного забезпечення для ГІС, що забезпечує картографування і візуалізацію, аналітику і управління даними метрики сталого розвитку з врахуванням геопросторової компоненти.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі на основі системного підходу розв'язано важливу науково-прикладну проблему розробки системної методології інтелектуального аналізу геопросторових даних з метою розпізнавання прихованих закономірностей та відношень в задачах сталого розвитку територіально розподілених систем.

Основні наукові та практичні результати роботи полягають у наступному:

1. Проведено аналіз проблем моделювання складових сталого розвитку та застосування методів геоінформатики для їх формалізації. За результатами цього аналізу зроблено висновок про доцільність розробки концепції класифікації та обґрунтування необхідності використання інтелектуальних методів аналізу геопросторових даних для моделювання сталого розвитку на засадах системного аналізу.

2. Системно обґрунтовано методи інтелектуального аналізу геопросторових даних в задачах сталого розвитку в межах концепції побудови вектору сталого розвитку на основі кватерного підходу до побудови компонентів якості життя та глобальних загроз. Запропоновано концепцію взаємодії між метрикою сталого розвитку, методами ІАГД та територією дослідження.

3. Розроблено методологію інтелектуального аналізу геопросторових даних в системах підтримки прийняття рішень для задач сталого розвитку з використанням теоретико-методологічних підходів до формалізації поняття та моделей представлення геопросторових даних на основі парадигми дискретних та континуальних ознак тривимірного простору та його часової зміни. Основною метою використання інтелектуального аналізу геопросторових даних визначено

пошук закономірностей та відносин у масивах даних, які містять просторово координовану прив'язку.

4. Досліджено застосування геоінформаційних технологій для проведення інтелектуального аналізу з використанням основних моделей організації геопросторових даних. Запропоновано систематизацію методів інтелектуального аналізу даних на основі геопросторових даних. Визначено ключові параметричні особливості цих методів, які полягають у геопросторовій координатності, топологічній єдності, геопросторових зв'язках та відносинах між собою. Визначено шість типів задач удосконалення метрики сталого розвитку, які можуть бути вирішені за допомогою ІАГД.

5. Розроблено систему методів, моделей та алгоритмів інтелектуального аналізу для обробки геопросторових даних для вирішення задач визначення впливу геопросторових відносин на складові сталого розвитку методом побудови трендових поверхонь. Застосовано методи геостатистичного аналізу даних для аналізу параметрів сталого розвитку України з використанням детермінованих та стохастичних методів аналізу даних, які включають процедури побудови глобальних інтерполяційних моделей на основі трендів, методу обернено зваженої відстані, сплайнів та методології крігінгу. В результаті застосування розв'язано задачу та доведено доцільність побудови трендових поверхонь для визначення глобальних трендів регіональної зміни параметрів сталого розвитку на прикладі регіонів України, що використано у моделях передбачення.

6. Удосконалено методи геостатистичного аналізу та оптимізації задачі інтерполяції даних стохастичними методами крігінгу. Удосконалено застосування методу крігінгу при моделюванні невідомих значень на основі підбору сферичної моделі варіограми. Це дозволило отримати кращі статистичні МНК оцінки точності для інтерпольованої поверхні методом сферичного крігінгу у порівнянні з детермінованими методами.

7. Запропоновано методи інтелектуального аналізу геопросторових даних для аналізу безпекового компоненту на різних територіальних рівнях методами побудови просторово-часових кубів з аналізом кластеризації «гарячих точок» з використанням ГІС-технологій. Розроблено метод аналізу великих геопросторових даних шляхом їх дворівневого аналізу за допомогою організації даних у просторово-часових кубах, де на основі методів просторової кластеризації відбувається виділення інформаційних патернів даних.

8. Розроблено методику кластеризації регіонів України у багатовимірному просторі з врахуванням просторових відносин для проведення районування та зонування території. Крім того, розроблено методику районування території за параметрами сталого розвитку з використанням топологічних геопросторових даних про місцезположення. Покращено алгоритми деяких найбільш застосованих на практиці методів районування, які є модифікаціями канонічних методів, і методів бар'єрів максимальних відмінностей. Розроблено алгоритм побудови

моделі сукупності однорідних територіальних зон. Оцінка ефективності угруповання об'єктів виконана за допомогою розрахунку псевдо-F-статистики Калінскі-Харабаза. Створені засоби проведення кластерного аналізу у середовищі ArcGIS дозволяють класифікувати просторові об'єкти за просторово-атрибутивними параметрами. Здійснено апробацію розробленого підходу районування регіонів України на основі даних про параметри сталого розвитку для моделювання управлінських рішень з використанням методів просторової модифікації методу кластеризації к-середніх та нечітких к-середніх.

9. Удосконалено методи глобальної та локальної просторової регресії для вирішення задач оптимізації конфігурування просторових патернів у розподілі точкових об'єктів на основі мінімізації локального індексу Морана та методів геопросторової концептуалізації топологічних відносин між об'єктами. Розроблено метод моделювання на основі географічно зваженої регресії та локального індексу Морана статистичного геопросторового розподілу індексу економічного виміру території.

10. Розроблено методи розрахунку метрики сталого розвитку на основі даних дистанційного зондування Землі з використанням карт самоорганізації Кохонена та згорткових нейронних мереж з градієнтним алгоритмом навчання.

Навчання згорткової нейронної мережі проведено на основі створеної бази даних мультиспектральних зображень та знімків нічного освітлення, які дозволили з високою надійністю розпізнавати на знімках території міських та сільських населених пунктів, промислових зон та сільськогосподарських угідь. Це дозволило оцінити значення індексу економічного розвитку з використанням регресійних залежностей між типами землекористування та значеннями індексу економічного розвитку для окупованих територій Україні та АР Крим, сформулювати розподіл значень індексу для адміністративних одиниць рівня району та міста, а також визначити динаміку індексу за останні роки.

11. Розроблено загальну архітектуру інструментарію СППР на основі створеної методології інтелектуального аналізу в задачах сталого розвитку, яка включає блоки постановки задач, управління даними, аналізу та моделювання, оцінювання результатів та прийняття рішень.

СППР реалізовано на основі веб-орієнтованої розподіленої геоінформаційної системи ArcGIS Enterprise 10.6. шляхом розробки аналітичних модулів геостатистичного аналізу на базі інтерполяційних методів, кластеризації та районування, обробки великих даних, нейромережевого аналізу з використанням архітектури згорткових мереж на основі мови програмування Python в середовищі розробки ArcGIS ModelBuilder.

12. Застосовано розроблену методологію та інструментарій до розв'язання ряду практичних задач моделювання параметрів сталого розвитку регіонів України, оцінки якості підземних вод, поводження з відходами, прогнозування локальних посух як фактору ризику для сільського господарства країни. На

основі аналізу даних дистанційного зондування Землі проведено оцінку динаміки індексу економічного розвитку окремих міст України та окупованих територій. Визначено рівень зниження показників індексу економічного виміру для цих територій.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Путренко В.В. Ресурсозбереження: регіональний аспект. - Наук. ред. Лісовський С.А. – К.: Інститут географії НАН України, 2011. – 224 с.
2. Геоінформаційне картографування в Україні. Концептуальні основи і напрями розвитку. – За ред. акад. Л.Г. Руденка. – К., Науково-виробниче підприємство «Видавництво «Наукова думка» НАН України», 2011. – 103 с.
3. Форсайт економіки України: середньостроковий (2015–2020 роки) і довгостроковий (2020–2030 роки) часові горизонти (версія для обговорення) / наук. кер. рівник проекту акад. НАН України М. З. Згуровський // Міжнародна рада з науки (ICSU); Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»; Інститут прикладного системного аналізу НАН України і МОН України; Світовий центр даних з геоінформатики та сталого розвитку. – Київ : НТУУ «КПІ», 2015. – 36 с.
4. Форсайт та побудова стратегії соціально-економічного розвитку України на середньостроковому (до 2020 року) і довгостроковому (до 2030 року) часових горизонтах / наук. керівник проекту акад. НАН України М. З. Згуровський // Міжнародна рада з науки (ICSU); Комітет із системного аналізу при Президії НАН України; Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»; Інститут прикладного системного аналізу МОН України і НАН України; Світовий центр даних з геоінформатики та сталого розвитку. — Київ : НТУУ «КПІ», 2016. — 180 с.
5. Foresight of Ukrainian Economy: mid-term (2015–2020) and long-term (2020–2030) time horizons / Scientific advisor of the project acad. of NAS of Ukraine M. Zgurovsky // International Council for Science (ICSU) ; Committee for the System Analysis of the Presidium of NAS of Ukraine; National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute» ; Institute for Applied System Analysis of NAS of Ukraine and MES of Ukraine ; World Data Center for Geoinformatics and Sustainable Development. — 2nd ed. — Kyiv : NTUU «KPI», Publ. house «Polytechnica», 2016. — 136 p.
6. Аналіз соціально-економічних процесів розвитку суспільства, заснованого на знаннях / наук. кер. проекту М. З. Згуровський. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 26 с. ISBN 978-966-622-819-5

7. Foresight 2018: systemic world conflicts and global forecast for XXI century / International Council for Science etc.; Scientific Supervisor M. Zgurovsky. – K. : NTUU «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», 2018. 226 p
8. Аналіз сталого розвитку – глобальний і регіональний контексти / Міжнародна рада з науки (ICSU) та ін.; наук. кер. проекту М. З. Згуровський. – К. : НТУУ «КПІ», 2013. – Ч. 2. Україна в індикаторах сталого розвитку (2013). – 178 с.
9. Sustainable Development Analysis: Global and Regional Contexts / International Council for Science (ICSU) and others; Scientific Supervisor of the Project M. Zgurovsky. — K. : Igor Sikorsky KPI, 2017. — Part 1. Global Analysis of Quality and Security of Life (2016). — 208 p.
10. Sustainable Development Analysis: Global and Regional Contexts / International Council for Science (ICSU) and others; Scientific Supervisor of the Project M. Zgurovsky. — K. : Igor Sikorsky KPI, 2017. — Part 2. Ukraine in Sustainable Development Indicators (2016– 2017). — 72 p.
11. Govorov M., Putrenko V., Gienko G. Mining Spatial Patterns of Distribution of Uranium in Surface and Ground Waters in Ukraine / Sami Faiz, Khaoula Mahmoudi. Handbook of Research on Geographic Information Systems Applications and Advancements, 2016, 567 p., що входить до наукометричних баз **SCOPUS**, Index Copernicus, Google Scholar та ін.
12. Путренко В. В. Перспективи розвитку Національного атласу України в мультимедійному напрямі // Вісник геодезії та картографії – 2009. – № 6. – С. 14 – 20. що входить до наукометричних баз Google Scholar, РИНЦ та ін.
13. Путренко В. В. Геоінформаційне картографування техногенних ризиків на території України: формування баз даних // Вісник геодезії та картографії – 2010. – № 5. – С. 23 – 28, що входить до наукометричних баз Google Scholar, РИНЦ та ін.
14. Путренко В. В. Картографічний підхід до оцінювання техногенних ризиків виникнення надзвичайних ситуацій на регіональному рівні // Вісник геодезії та картографії. – 2012. - №6. – С. 24-32, що входить до наукометричних баз Google Scholar, РИНЦ та ін.
15. Путренко В.В. Системные основы интеллектуального анализа геопространственных данных / В.В. Путренко // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2015. – № 3 - С. 24 – 32, що входить до наукометричних баз DOAJ, Index Copernicus, Google Scholar, РИНЦ та ін.
16. Путренко В.В., Тихоход В.О. Розробка геостатистичних моделей інтелектуального аналізу забруднення повітря // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2015. - №4/10. – С. 21-26, що входить до наукометричних баз DOAJ, що входить до наукометричних баз **SCOPUS**, Index Copernicus, Google Scholar та ін.
17. Путренко В.В., Красовська І.Г. Кластеризація геопросторових даних при інтелектуальному аналізі // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – ХАІ.

- 2015. - № 3. – С. 32-41, DOAJ, що входить до наукометричних баз Index Copernicus, Google Scholar, РИНЦ та ін.
- 18.Путренко В.В. Застосування трендових геопросторових статистичних моделей на основі інтелектуальному аналізі даних/ В.В. Путренко // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2015. – № 4. – С7 – 19, що входить до наукометричних баз Index Copernicus, Google Scholar та ін.
 - 19.Путренко В.В. Інтелектуальний аналіз небезпеки виникнення природних пожеж на основі геоінформаційних технологій // Технологический аудит и резервы производства. – Х., Технологический центр. – 2016. – С. 67 – 72, що входить до наукометричних баз Index Copernicus, Google Scholar та ін.
 - 20.V. Snytyuk, N. Pashynska, V. Putrenko, A. Musienko A decision tree in a classification of fire hazard factors // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2016. - Vol 5, No 10(83) - P. 32-38, що входить до наукометричних баз **SCOPUS**, Index Copernicus, Google Scholar та ін.
 - 21.Путренко В.В. Застосування інструментарію геоінформаційного моделювання для інтелектуального аналізу даних пожежної небезпеки / В. В. Путренко, Н. М. Пашинська // Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – 7 (1229). – С. 156-163. – doi:10.20998/2413-4295.2017.07.22, що входить до наукометричних баз Index Copernicus, Google Scholar та ін.
 - 22.Путренко В.В., Пашинська Н.М. Інтелектуальний аналіз геопросторових даних як інструмент планування сталого розвитку // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія фізико-математичні науки. 2017, Вип 1. С. 49-55, що входить до наукометричних баз DOAJ, Index Copernicus, Google Scholar, РИНЦ та ін.
 - 23.Putrenko V. Pashynska N. The use of remote sensing data for modeling air quality in the cities // ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., IV-5/W1, 2017, pp. 57-62 що входить до наукометричних баз **SCOPUS**, Index Copernicus, Google Scholar та ін.
 - 24.Путренко В.В., Пархоменко А.В. Геопросторовий аналіз та візуалізація даних про військову конфліктогенність // Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. збірник / Головн. ред. М.М. Осетрін. – К., КНУБА, 2017. – Вип. 64. – С. 326 – 332, що входить до наукометричних баз Google Scholar, РИНЦ та ін.
 - 25.Путренко В.В., Назаренко С.Ю., Пашинська Н.М. Моделювання даних з просторово-часовим розподілом для потреб прийняття рішень // Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. збірник / Головн. ред. М.М. Осетрін. – К., КНУБА, 2018. – Вип. 68. – С. 750 – 760, що входить до наукометричних баз Google Scholar, РИНЦ та ін.
 - 26.Путренко В.В., Назаренко С.Ю. Визначення якості повітря на основі інтелектуального аналізу даних дистанційного зондування // Математичне

- модельовання в економіці, 2016. – № 3-4 (7). – С. 176-188, що входить до наукометричних баз Index Copernicus, Google Scholar та ін.
27. Путренко В.В., Пашинська Н.М. Інтелектуальний аналіз земного покриття території України на основі даних Globeland 30 // Управління розвитком складних систем. - Вип 31. 2017. – С. 117-126, що входить до наукометричних баз Index Copernicus, Google Scholar та ін.
 28. Даценко Л.М., Говоров М., Путренко В.В., Пашинська Н.М. Перші результати реалізації українсько-канадського освітнього проекту з питань закладення основ інфраструктури просторових даних // Вісник геодезії та картографії, Вип.4, 2015. – С. 46-52, що входить до наукометричних баз Google Scholar, РИНЦ та ін.
 29. Путренко В.В., Бенатов Д. Е., Стефанишин Д. В. Геоінформаційна система «гідровузли України» – важливий елемент підтримки управлінських процедур // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - 1/3 (79) 2016. – 46 – 53, що входить до наукометричних баз **SCOPUS**, Index Copernicus, Google Scholar та ін.
 30. Putrenko V., Bowkun Alexandra Spatial modeling of the risk of accident in the power system // Risk information management, risk models and applications, 2015. – CODATA-Germany LNIS. – Vol.7 - P.1 – 13, що входить до наукометричних баз Index Copernicus, Google Scholar та ін.
 31. Putrenko V., Pashynska N. Risk Modeling of Accidents in the Power System of Ukraine with Using Bayesian Network // Advances in Computer Science for Engineering and Education, Springer International Publishing AG, 2018. – vol. 754. pp.13-22, що входить до наукометричних баз **SCOPUS**, Index Copernicus, Google Scholar та ін.
 32. Putrenko V. Data mining of the land cover characteristics of Ukraine using the data of remote sensing of Earth // Slovak international scientific journal, VOL.1, №30, 2019. – р. 13-18. що входить до наукометричних баз Index Copernicus, Google Scholar та ін.
 33. Govorov M., Beconyte G., Gienko G., Putrenko V. Spatially constrained regionalization with multilayer perceptron // Transactions in GIS. 2019 Vol 23, Issue 4, p.1–30. що входить до наукометричних баз SCOPUS, Index Copernicus, Google Scholar та ін.
 34. Putrenko V., Pashynska N. Data mining of sustainable development process with using nightlight indicators // Technology audit and production reserves — № 3/2(47), 2019. – р. 4 – 9, що входить до наукометричних баз Index Copernicus, Google Scholar та ін.
 35. Путренко В.В., Пашинська Н.М. Регіональний моніторинг стану рослинності з використанням методів інтелектуального аналізу даних // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. - Том 30

- (69) Ч. 1 № 4 2019. – С. 112 – 118, що входить до наукометричних баз Google Scholar, РИНЦ та ін.
36. Комп'ютерна програма «Геоінформаційна система «Гідровузли України»: свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір 64745 Україна / Бенатов Д. Е., Путренко В.В., Стефанишин Д. В., Розщупкін Г. В. – № 65227; заявл. 09.02.16; реєстр. 01.04.16.
 37. Геоінформаційні технології та інфраструктура геопросторових даних: у шести томах. Том 1: Вступ до геоінформаційних систем для інфраструктури просторових даних. Навчальний посібник / Б. Магваір, М. Говоров, Н.М. Пашинська, Л.М. Даценко, В.В. Путренко. – Київ, 2016. – 396 с.
 38. Геоінформаційні технології та інфраструктура геопросторових даних: у шести томах. Том 2: Системи керування базами геоданих для інфраструктури просторових даних. Навчальний посібник. / Д. Кейк, А.А. Лященко, В.В. Путренко, Ю. Хмелевський, К.С. Дорошенко, М. Говоров – Київ, 2017. – 456 с.
 39. Геоінформаційні технології та інфраструктура геопросторових даних: у шести томах. Том 3: Просторові кадастрові інформаційні системи для інфраструктури просторових даних. Навчальний посібник. / М. Говоров, А.А. Лященко, Д. Кейк, П. Зандберген, М.А. Молочко, Л. Бевайніс, Л.М. Даценко, В.В. Путренко – Планета-Прінт, 2017. – 532 с.
 40. Путренко В.В. Інтелектуальний аналіз земного покриття території України на основі даних Globeland 30 // Вісник Астрономічної школи, 2016, том 12, № 1 – С. 46 – 57, що входить до наукометричних баз Index Copernicus, Google Scholar та ін.
 41. Zgurovsky M Putrenko V., Pashynska N. Parameterization of Sustainable Development Components Using Nightlight Indicators in Ukraine // 2018 IEEE First International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC), 2018. – pp. 8-12, що входить до наукометричних баз **SCOPUS**, ISI.
 42. Putrenko V. Data Mining of Relationship in Crowdsourcing Projects and Social Activities of Citizens // 2017 IEEE First International Conference on electrical and computer engineering (UKRCON), conference proceedings, Kyiv, Ukraine, May 29 – June 2, 2017. – P. 1060 – 1066, що входить до наукометричних баз **SCOPUS**, ISI.
 43. Putrenko V., Pashynska N. Data Mining of Network Events with Space-Time Cube Application // IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing, August 21-25, 2018, Lviv, Ukraine. – pp. 79-83, що входить до наукометричних баз **SCOPUS**, Index Copernicus, Google Scholar та ін.
 44. Chabaniuk, V.S., Putrenko, V.V. Persönlicher Atlas des Ministers für Katastrophenschutz der Ukraine // Diskussionsbeiträge zur Kartosemiotik und zur Theorie der Kartographie Intern. Korrespondenz-Seminar, Band 15. Dresden

- 2012, p. 14- 19, що входить до наукометричних баз Index Copernicus, Google Scholar та ін.
45. Putrenko V., Pashynska N., Nazarenko S. Data Mining of Network Events With Space-Time Cube Application // First Workshop on Platial Analysis (PLATIAL'18), Heidelberg, 20–21 September 2018. – pp. 73-80, що входить до наукометричних баз Index Copernicus, Google Scholar та ін.
 46. Putrenko V., Modeling Spatial Relationships of Electoral Behavior in Ukraine // European review of law and international relations Chief of the Board Jerzy J. Wiatr, Warszawa, 2018. – P. 46 – 52, що входить до наукометричних баз Index Copernicus, Google Scholar та ін.
 47. Путренко В.В., Пашинська Н. М., Назаренко С. Ю. Картографування якості повітря на основі аналізу даних дистанційного зондування // Часопис картографії: Збірник наукових праць. – К. : КНУ ім. Тараса Шевченка, 2016. – Вип. 15. Частина 1. – 89-98, що входить до наукометричних баз Google Scholar, РИНЦ та ін.
 48. Путренко В. В. Визначення концентрації оксиду азоту в атмосферному повітрі за даними дистанційного зондування Землі / В.В. Путренко, Н.А. Куцина, С.Ю. Назаренко // Праці Центральної геофізичної обсерваторії. – К.: Інтерпрес ЛТД, 2017. – Вип. 13 (27) – С. 55 – 61, що входить до наукометричних баз Google Scholar, РИНЦ та ін.
 49. Putrenko V., Govorov M., Gienko G. Exploring Distribution of Uranium in Ukraine: Geovisualization and Spatial Statistics // 26th International Cartographic Conference, Dresden August 25 – 30, 2013 Proceedings. Режим доступу: <http://www.icc2013.org/?node=29>, що входить до наукометричних баз Index Copernicus, Google Scholar та ін.
 50. Putrenko V. Assessment of Risk and Hazard of Technological Emergencies with GIS (on the Example Vinnytsia Region) // 26th International Cartographic Conference, Dresden August 25 – 30, 2013 Proceedings. Режим доступу: <http://www.icc2013.org/?node=29>, що входить до наукометричних баз Index Copernicus, Google Scholar та ін.
 51. Putrenko V., Govorov M., Gienko G. Exploring Spatial Patterns of Uranium Distribution in Ukraine // 16th AGILE Conference on Geographic Information Science: Geographic Information Science at the Heart of Europe: 14-17 May 2013, Leuven, Belgium. Режим доступу: <http://agile.gis.geo.tu-dresden.de/web/index.php/conference/proceedings>, що входить до наукометричних баз Index Copernicus, Google Scholar та ін.
 52. Путренко В.В., Тихоход В.А. Використання кластерного аналізу для просторового моделювання в геоінформаційних системах // Географічна наука і практика: виклики епохи: Матеріали міжнародної наукової конференції, присвяченої 130-річчю географії у Львівському університеті (м. Львів, 16 – 18 травня 2013 р.). У 3-ох томах. – Львів: Видавничий центр

- ЛНУ імені Івана Франка, 2013. – Том 3. – 306 с., що входить до наукометричних баз Google Scholar, РИНЦ та ін.
- 53.Путренко В.В., Мультимасштабні картографічні моделі аналізу небезпек та ризиків надзвичайних ситуацій // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И.Вернадского Серия «География». Том 26 (65). 2013 г. № 1, С. 136-144, що входить до наукометричних баз Google Scholar, РИНЦ та ін.
 - 54.Путренко В.В., Чабанюк В.С., Станкевич Т.В. Питання публікації тематичної геопросторової інформації на основі картографічних веб-сервісів // Український географічний журнал, 2012. - № 4. – С. 42 – 52, що входить до наукометричних баз Google Scholar, РИНЦ та ін.
 - 55.Путренко В. В. Картографування інфраструктурних мереж для цілей управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій // Проблеми безперервної географічної освіти і картографії: Збірник наукових праць. – Харків: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2012. – Вип. 16. – С. 106 – 109, що входить до наукометричних баз Google Scholar, РИНЦ та ін.
 - 56.Путренко В. В. Геоинформационная оценка рисков и опасностей техногенных чрезвычайных ситуаций (на примере Винницкой области) // ИнтерКарто-ИнтерГИС – 18: Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт. Материалы международной конференции / Редкол.: С.П. Евдокимов (отв. ред.) [и др.]. Смоленск, 26-28 июня, 2012 г. Смоленск, 2012. – С. 367- 374.
 - 57.Путренко В. В. Використання хмарних сервісів для тематичного картографування // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского, Серия «География» 2012. – Том 25 (64) №1. – С. 191 – 200, що входить до наукометричних баз Google Scholar, РИНЦ та ін.
 - 58.Путренко В.В., Ляшенко Д.О. Математико-картографічне моделювання електоральної ситуації в Україні // Часопис картографії: Збірник наукових праць. – К.: КНУ ім. Тараса Шевченка, 2011. – Вип.2. – С. 86-95, що входить до наукометричних баз Google Scholar, РИНЦ та ін.
 - 59.Путренко В. В. Підходи до класифікації географічних баз даних // Проблеми безперервної географічної освіти і картографії: Збірник наукових праць. – Харків: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2011. – Вип.13. – С. 78-81, що входить до наукометричних баз Google Scholar, РИНЦ та ін.
 - 60.Путренко В. В. Картографічне моделювання геохімічних полів // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія: Географічні науки. - 2011 – Т25, №.3. – С. 144 – 152, що входить до наукометричних баз Google Scholar, РИНЦ та ін.
 - 61.Путренко В. В. Картографічний метод оцінки екологічної безпеки використання підземних вод в Україні // Вчені записки Таврійського

- національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія: Географічні науки. - 2011 –Т 24., №2. С.54-62, що входить до наукометричних баз Google Scholar, РИНЦ та ін.
- 62.Путренко В.В., Голубцов О.Г., Чехній В.М., Фаріон Ю.М. Ландшафтна ГІС як результат ландшафтознавчого прикладного дослідження адміністративного району: методичні аспекти // Географія та туризм, 2010. – Вип. 10. – С. 141 – 153, що входить до наукометричних баз Google Scholar, РИНЦ та ін.
 - 63.Путренко В.В., Півнюв О.В Створення та функціонування бази даних Національного атласу України // Укр. геогр. журн. – 2010. – № 1. – С. 53-58, що входить до наукометричних баз Google Scholar, РИНЦ та ін.
 - 64.Путренко В. В. Засади створення регіональної ГІС «Ресурсозбереження» // Національне картографування: стан, проблеми та перспективи розвитку: Збірник наукових праць / Відп. За вип. А.А. Москалюк. – К.: ДНВП «Картографія», 2008. – Вип.3 – С. 207 – 212.
 65. Путренко В.В. Використання глобальних моделей інтерполяції у інтелектуальному аналізі геопросторових даних / В.В. Путренко // Системний аналіз та інформаційні технології: матеріали 17-ї Міжнародної науково-технічної конференції SAIT 2015, Київ, 22-25 червня 2015 р. / ННК “ІПСА” НТУУ “КПІ”. – К.: ННК “ІПСА” НТУУ “КПІ”, 2015. – С. 103 – 104.
 66. Путренко В.В. Інтелектуальний аналіз геопросторових даних для цілей управлінської діяльності / В.В. Путренко // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «В.М. Глушков – піонер кібернетики» (2014 р. м. Київ). – К.: Видавництво «Політехніка», 2014. – С.235 – 237.
 - 67.Putrenko V. Bowkun A., Spatial Modeling of the Risk of Accidents in the Power System of Ukraine // RISK Information Management, Risk Models and Applications, Berlin, Germany, November 17/18, 2014. – P. 10 – 11.
 - 68.Путренко В.В. Методи інтелектуального аналізу геопросторових даних // Матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції «Авіа 2015» 28 – 29 квітня 2015 року, –К.: НАУ, 2015. – С. 28.43 – 28.48.
 - 69.Путренко В.В., Джигирей І.М. ГІС-технології як ефективний інструмент залучення громадськості у процедури ухвалення рішень з питань екологічної політики / В.В. Путренко, І.М. Джигирей // Збірка тез доповідей XVII Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ) / Укладач Д.Е. Бенатов. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – С. 183-185.
 - 70.Putrenko V. The Relationship Between Developing OpenStreetMap and Social Activity by the Example of Territory of Ukraine // 27th International Cartographic Conference, Maps Connecting the World, August 23-28, 2015, Rio

- de Janeiro / Brazil. Processing paper. Web: <http://www.icc2015.org/abstract,517.html>
71. Putrenko V., Govorov M., Gienko G. Unsupervised Machine Learning for Regionalization of Environmental Data: Distribution of Uranium in Groundwater in Ukraine // 27th International Cartographic Conference, Maps Connecting the World, August 23-28, 2015, Rio de Janeiro / Brazil. Processing paper. Web: <http://www.icc2015.org/abstract,892.html>
 72. Путренко В.В. Статистичний аналіз даних землекористування для цілей регіонального управління в Україні // Міжнародна наукова конференція Астрономічна школа молодих вчених Україна, Київ, 26–27 травня 2016 р. – К., НАУ. – 2016. – С. 77 – 79.
 73. Putrenko V. Regional monitoring of Ukraine vegetation changes for yield forecast and climate change monitoring // Copernicus Global Land (Arlon, Belgium, 06-08 June 2016 p.). Web: <http://events.ulg.ac.be/copernicus-gl-workshop/programme/>
 74. Путренко В.В. Інтелектуальний аналіз геопросторових даних: сучасні тенденції та перспективи // Международный научно-практический форум «НАУКА И БИЗНЕС», 1 июля 2016 года Днепр, Украина. – Днепр, 2016. – С. 76 – 82.
 75. Putrenko V. V., Pashynska N. M. Wildfire prediction and monitoring in Ukraine on base of Copernicus Land service // Аерокосмічні спостереження в інтересах сталого розвитку та безпеки. – К., С. 41-43
 76. Пашинська Н.М., Путренко В.В. Використання інструментарію геоінформаційного моделювання для інтелектуального аналізу даних пожежної небезпеки // Геоінформаційні технології у територіальному управлінні – Одеса : ОРІДУ НАДУ, 2016. – 123-126
 77. Пашинська Н.М., Путренко В.В. Інтелектуальний аналіз даних на основі класифікації факторів пожежної небезпеки з використанням дерева рішень // Праці VIII міжнародної школи-семінару «Теорія прийняття рішень». – Ужгород, УжНУ, 2016. - С. 203-204
 78. Пашинська Н.М., Путренко В.В. Використання карт самоорганізації для кластеризації території за рівнем природно-техногенної небезпеки // Міждисциплінарні дослідження актуальних проблем застосування інформаційних технологій в сучасному світі: зб. матеріалів V Всеукр. наук.-практ. конф. "Глушковські читання", Київ, 24 листопада 2016 року. – К: ТОВ НВП "Інтерсервіс", 2016. – С. 145-150.
 79. Viktor Putrenko Risk Modeling of Accidents in the Power System of Ukraine Based on SDI Data // GSDI 15 Conference Proceedings, November 2016 – p. 134- 135 – gsdiassociation.org.
 80. Пашинська Н.М., Путренко В.В. Просторово-часове моделювання забруднення повітря внаслідок аварій на хімічних об'єктах з

- використанням інструментарію ГІС // Системний аналіз та інформаційні технології: матеріали 19-ї Міжнародної науково-технічної конференції SAIT 2017, Київ, 22 – 25 травня 2017 р. / ННК “ІПСА” НТУУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського”. – К.: ННК “ІПСА” НТУУ “КПІ”, 2017. – С. 103-104
- 81.Пархоменко А.В., Путренко В.В. Аналіз регіональних збройних конфліктів з використанням методів просторової кластеризації // Системний аналіз та інформаційні технології: матеріали 19-ї Міжнародної науково-технічної конференції SAIT 2017, Київ, 22 – 25 травня 2017 р. / ННК “ІПСА” НТУУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського”. – К.: ННК “ІПСА” НТУУ “КПІ”, 2017. – С. 101-102.
 - 82.Путренко В.В., Пашинська Н.М. Використання 3D Space-Time Cube для моделювання просторово-часових даних // Збірник матеріалів конференції «ГІС-ФОРУМ-2018» (Харків, 14–16 березня 2018 р.). — Вип. 2. — Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна. – С.32-34.
 - 83.Putrenko V., Pashynska N. Clusterization of vegetation dynamics data by method hot spot analysis // Аерокосмічні спостереження в інтересах сталого розвитку та безпеки: Матеріали доповідей. – К., 2018. – С. 42-45
 - 84.Путренко В.В., Пашинська Н.М. Оцінка параметрів сталого розвитку методами ДЗЗ // Картографія та вища школа сучасний стан і стратегія розвитку. Матеріали міжнародної конференції. – К., 2018. – С. 71-74
 - 85.Путренко В.В., Пашинська Н.М. Використання 3D Space-Time Cube для інтелектуального аналізу даних // System analysis and information technology: 20-th International conference SAIT 2018, Kyiv, Ukraine, May 21-24, 2018. Proceedings. – pp. 150-151
 - 86.Putrenko V., Pashynska N. Analysis of regional armed conflicts using spatial clustering methods // InterCarto-InterGIS 24. Geoinformation and Sustainable Development. Processing - Bonn, July 24-28, 2018. – pp. 31-32
 - 87.Путренко В.В. Пашинська Н.М. “Big Data” в просторовому управлінні міським середовищем // Геоінформаційні технології у територіальному управлінні. – Одеса: ОРІДУ, 2015. – С. 89-93
 - 88.Путренко В.В. Екологічний моніторинг засобами дистанційного зондування Землі //ЕКОЛОГІЯ ЛЮДИНИ – РОДИНИ – КРАЇНИ: зб. матеріалів круглого столу, (22 листоп. 2018 р., м. Київ) – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – С. 62 – 64.
 - 89.Путренко В.В. Мультимасштабні геопросторові бази даних картографування ризиків та небезпек надзвичайних ситуацій // «Потенціал сучасної географії у розв’язанні проблем розвитку регіонів», Київ 3-5 жовтня 2013 р., с. 432 -435.
 - 90.Putrenko V. Multi-scale geospatial database for risk mapping of emergency // From cartography to geographic information science, Vilnyus, Litva, May 31 –

June

Режим

доступу:

<http://www.geoportal.lt/wps/poc?uri=page:RUBRIC.2460>.

- 91.Путренко В.В. Засади сервіс-орієнтованого картографування для попередження надзвичайних ситуацій // Матеріали Всеукраїнської конференції «На шляху до сталого розвитку», 18 – 19 червня 2013 р., Київ, с. 120 – 124.
- 92.Putrenko V., Rudenko L. New approaches for mapping of natural, technological and social risks and the dangers of emergency in Ukraine // 32nd International Geographical Congress Book of Abstracts p. 744 Режим доступу <http://igc2012.org/frontend/index.php>
- 93.Putrenko V. GIS-mapping for assessment of risks of groundwater use in Ukraine // 32nd International Geographical Congress Book of Abstracts p. 741 – 742 Режим доступу <http://igc2012.org/frontend/index.php>
- 94.Putrenko V. Risk Management In Ukraine On The Basis Of The Functioning Of Spatial Data Infrastructure // Global Geospatial Conference 2012 - Spatially Enabling Government, Industry and Citizens, Québec City, Canada, 14-17 May 2012, Електронна публікація Режим доступу <http://www.gsdi.org/gsdiconf/gsdi13/abstracts.html#ab82>
- 95.Путренко В.В. Нові технологічні засади екологічного картографування // Зелена економіка: перспективи впровадження в Україні: матеріали міжнародної конференції (Київ, 24 – 25 квітня 2012 р.): у 3 т. – К. : Центр екологічної освіти та інформації, 2012. – Т.1. – С. 369 – 372.
- 96.Путренко В.В., Чабанюк В.С., Дишлик О.П. Головні технологічні рішення при створенні національних атласів // Національне картографування: стан, проблеми та перспективи розвитку, Збірник матеріалів V Всеукраїнської науково-практичної конференції «Національні атласи у формуванні глобального інформаційного простору» (м. Київ, 13-14 вересня 2012 р.), Вип. 5. – 2012. – С. 177 – 180
- 97.Путренко В.В., Руденко Л.Г. Атлас ризиків та небезпек виникнення надзвичайних ситуацій // Національне картографування: стан, проблеми та перспективи розвитку, Збірник матеріалів V Всеукраїнської науково-практичної конференції «Національні атласи у формуванні глобального інформаційного простору» (м. Київ, 13-14 вересня 2012 р.), Вип. 5. – 2012. – С. 155 – 159.
- 98.Путренко В.В., Руденко Л.Г., Волошин С.М. Інформаційний продукт щодо аналізу ризиків та небезпек виникнення надзвичайних ситуацій в Україні // Екологічні аспекти регіонального партнерства в надзвичайних ситуаціях: Збірка матеріалів I Міжвузівської науково-методичної конференції. – Х.: НУЦЗУ, 2012. – С. 97 – 103.
- 99.Путренко В.В. Геоінформаційний аналіз регіональної інфраструктури з метою попередження надзвичайних ситуацій // Геопросторові технології в

- сталому розвитку міст: матеріали Міжвузівської науково-практичної конференції, Харків, - 16- 17 листопада 2011 р. – Х.: ХНАМГ, 2011. – С. 16-18
100. Putrenko V. Cartographic modeling of differentiation electoral space in Ukraine // Territorial identity and geopolitics (18-23 september 2011, Kyiv-Crimea, Ukraine). – Kyiv, 2011. – P. 33 – 36
 101. Путренко В.В. Світовий досвід організації тематичної інформації у інфраструктурах геопросторових даних // Розвиток тематичної складової інфраструктури геопросторових даних в Україні: Збірник наукових праць. – К., 2011. – С. 133 – 139
 102. Путренко В.В. Побудова геоінформаційних баз даних управління природними ресурсами // Природно-ресурсний потенціал збалансованого (сталого) розвитку України: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 19-20 квітня 2011 р.) у 2 т. – К.: Центр екологічної освіти та інформації, 2011. – Т.1. – С. 424 – 427
 103. Путренко В.В. Базы данных тематического картографирования в составе инфраструктур пространственных данных // Тематическое картографирование для создания инфраструктур пространственных данных / Материалы IX научной конференции по тематической картографии (Иркутск, 9-12 ноября 2010 г.). – Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2010. – В 2-х т. – Т. 1. –С. 56 – 59.
 104. Путренко В.В. База даних ландшафтознавчого дослідження адміністративного району з метою моніторингу та раціонального використання земель
 105. Путренко В.В. Підходи до формування бази даних атласу надзвичайних ситуацій // Просторовий аналіз природних і техногенних ризиків в Україні: Зб. Наук. праць. – 2009. – С. 37 – 40.
 106. Путренко В.В. Геоінформаційне атласне картографування природокористування // Українська історична географія та історія географії в Україні: Матеріали міжнародної наукової конференції (7-10 жовтня). Чернівці: Чернівецький національний університет, – 2009. – С. 176.
 107. Putrenko V.V., Pashynska N.M. Web Atlas of Sustainable Development of Ukraine // ICA Commissions Joint Workshop on Atlases, Cognition, Usability. Olomouc, April 27–30, 2018. – p. 28-29.
 108. Putrenko V., Modeling Spatial Relationships of Electoral Behavior in Ukraine // 25th World Congress of Political Science, July 21-25, 2018, Brisbane, Australia <https://www.ipsa.org/events/congress/brisbane2018>

АНОТАЦІЯ

Путренко В.В. Методологія інтелектуального аналізу геопросторових даних для задач сталого розвитку. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.04 – Системний аналіз і теорія оптимальних рішень Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, 2020.

Дисертаційна робота присвячена розробці методології інтелектуального аналізу геопросторових даних для задач сталого розвитку.

Підтримка прийняття управлінських рішень в управлінні територіально розподіленими системами засновується на використанні геопросторової інформації. Тому інтелектуальний аналіз геопросторових даних відкриває нові можливості для пошуку оптимальних управлінських рішень на всіх рівнях територіального керування.

В дисертаційній роботі розв'язано важливу науково-прикладну проблему інтелектуального аналізу геопросторових даних з метою розпізнавання прихованих закономірностей та відношень в задачах сталого розвитку територіально розподілених систем.

Розроблено методологію та обґрунтовано доцільність використання інтелектуальних методів аналізу геопросторових даних щодо сталого розвитку на засадах методів системного аналізу.

Розроблено теоретико-методологічні підходи до формалізації поняття та моделей представлення геопросторових даних на основі парадигми дискретних та континуальних ознак тривимірного простору та його часової зміни.

Ключові слова: інтелектуальний аналіз, геопросторові дані, геоінформаційна система, кластеризація, нейронні мережі, трендовий аналіз, геостатистика, сталий розвиток, якість життя.

АННОТАЦИЯ

Путренко В.В. Методология интеллектуального анализа геопространственных данных для задач устойчивого развития. - Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 01.05.04 - Системный анализ и теория оптимальных решений Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев, 2020.

Диссертационная работа посвящена разработке методологии интеллектуального анализа геопространственных данных для задач устойчивого развития.

Поддержка принятия управленческих решений в управлении территориально распределенными системами основывается на использовании геопространственной информации для достижения целей устойчивого развития. Поэтому интеллектуальный анализ геопространственных данных открывает новые возможности для поиска оптимальных управленческих решений на всех уровнях территориального управления.

В диссертационной работе решена важная научно-прикладную проблему интеллектуального анализа геопространственных данных с целью распознавания скрытых закономерностей и отношений в задачах устойчивого развития территориально распределенных систем.

Разработана методология и обоснована целесообразность использования интеллектуальных методов анализа геопространственных данных по устойчивому развитию на основе методов системного анализа.

Разработаны теоретико-методологические подходы к формализации понятия и моделей представления геопространственных данных на основе парадигмы дискретных и континуальных признаков трехмерного пространства и его временного изменения.

Ключевые слова: интеллектуальный анализ, пространственные данные, геоинформационная система, кластеризация, нейронные сети, трендовый анализ, геостатистики, устойчивое развитие, качество жизни.

SUMMARY

Putrenko V.V. Intellectual analysis of geospatial data in the tasks of scenario modeling of sustainable development. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript

Thesis for a Doctor of Technical Sciences degree by specialty 01.05.04 - System Analysis and Theory of Optimal Solutions. National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» Kyiv, 2020.

The dissertation is devoted to the development of the methodology of the intellectual analysis of geospatial data for use in decision-making systems in the research tasks of sustainable development of the regions of Ukraine in the context of improving the quality and safety of people's lives.

Support for management decisions in the management of geographically distributed systems is based on the use of geospatial information, which in turn requires the use of techniques and methods for intelligent analysis and processing of geospatial data to achieve the goals of sustainable development. The main reasons for this are the development of the geospatial data industry, the transition to management based on the use of geoinformation systems, the creation of new systems and methods for collecting geospatial data, including geocoding and geotagging of information, the accumulation of large volumes of geospatial data, which require the latest methods of analysis and the search for the laws in their structure. Therefore, intelligent data analysis opens up

new opportunities for finding optimal managerial decisions at all levels of territorial management.

In dissertation work the important scientific-applied problem of modeling of parameters of sustainable development with the use of geospatial data on the basis of system approach is solved.

The concept of classification has been developed and the expediency of using intelligent methods of analysis of geospatial data for scenario modeling of sustainable development on the basis of methods of system analysis is substantiated.

The theoretical and methodological approaches to the formalization of concepts and models of representation of geospatial data are developed on the basis of the paradigm of discrete and continual features of the space of three-dimensional space and its time-shift.

In order to conceptualize relations in the geographic space, the concept of geoinformation space as a set of information coordinated computer models of the investigated geospatial is introduced.

The primary purpose of using Geospatial Data Intelligence (GDI) is to search for patterns and relationships in large datasets that contain spatially coordinated binding. Therefore, the use of GDI as part of the DSS in territorial management and forecasting is an important and relevant tool for substantiating management decisions. The implementation process of GDI is stable and iterative in order to find optimal analysis results. The main directions of GDI are classification, clustering, rules of associations, geostatistics and geo-visualization, which together form the methodology of systematic intellectual analysis to support decision-making. GDI improves data processing efficiency with other data analysis methods based on different information platforms.

Basic methods of geospatial data mining are determined by the type of data distribution and the hypothesis of the probability of estimating the occurrence of anomalous values over a limited spatial distance. The spatial autocorrelation between geospatial objects (Global I Moran Index), the mean nearest neighbor index, the Moran Local Index is used to determine these parameters. For the purposes of spatial clustering, hotspot analysis (Getis-Ord G_i^*) is used, and the grouping of objects is measured using the Kalinski-Kharabaz pseudo-F statistics. Spatial clustering is determined by the spatial constraints of the topology. An important component of the intellectual analysis of geospatial data is the modeling of spatial relationships by back-distance methods, ranges of distances, zones of indifference, adjacency and neighborhood.

An approach to the analysis of big geospatial data by their two-level analysis with the help of data organization in space-time cubes, where based on methods of spatial clustering, the allocation of information patterns of data is developed.

Keywords: intellectual analysis, geospatial data, geoinformation system, clustering, neural networks, trend analysis, geostatistics, sustainable development, quality of life.